

João Filipe Sousa Ribeiro

2º Ciclo de Estudos em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do  
Território

**As relações entre o desenho urbano e a cobertura do transporte público: uma  
análise baseada em Sistemas de Informação Geográfica  
Caso de estudo: Município de Madrid**

2014

**Orientador:** Professora Doutora Teresa Sá Marques

**Co-orientadores:** Professor Doutor Javier Gutiérrez Puebla

Professor Doutor Juan Carlos García-Palomares

**Classificação: Ciclo de Estudos:**

**Dissertação/relatório/Projeto/IPP:**

**Versão definitiva**

Este relatório de estágio foi realizado ao abrigo do Programa ERASMUS, sob a forma de estágio profissional, no Departamento de Investigação de Geografia Humana, na *Facultad de Geografia e Historia da Universidad Complutense* de Madrid.

## Agradecimentos

O presente relatório de estágio foi realizado com o inestimável contributo e colaboração de algumas pessoas e instituições às quais não poderia deixar de mencionar e agradecer.

À minha orientadora, Professora Doutora Teresa Sá Marques, pela orientação, contribuição e disponibilidade prestada no decurso da execução do meu relatório de estágio, nomeadamente na revisão, reestruturação, rigor científico e partilha de conhecimentos que contribuíram para a realização do mesmo.

Aos meus co-orientadores, Professor Doutor Javier Gutiérrez Puebla e Professor Doutor Juan Carlos García Palomares, pelo acolhimento e apoio prestado durante todo o período de estágio na *Facultad de Geografía e Historia da Universidad Complutense de Madrid*, pela permanente orientação, ensinamentos, contributos e disponibilidade, partilha de conhecimentos, sugestões, revisão e exigência na realização do estágio, que em muito contribuíram para o meu crescimento enquanto geógrafo. Agradeço ainda pela cedência dos dados indispensáveis para a realização deste projeto, bem como pela aprendizagem proporcionada através do contacto direto, numa área da Geografia que me era desconhecida.

A todo o grupo de investigação de Transporte, Infraestruturas e Território da *Universidad Complutense de Madrid* pela partilha de conhecimentos, sugestões e disponibilidade que contribuíram para uma melhor aprendizagem.

À Câmara Municipal do Porto pela disponibilidade e cedência de dados para uma possível aplicação do projeto no município do Porto.

Aos meus amigos e colegas pela amizade, companhia e incentivos durante as diferentes etapas deste relatório de estágio.

A todos os professores da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, particularmente ao Professor Doutor Alberto Gomes, que me acompanharam durante o meu percurso académico e muito contribuíram para a minha aprendizagem.

A toda a minha família, particularmente aos meus pais e irmã, pela compreensão e por todo o apoio e ajuda que me deram ao longo desta jornada, pelos sacrifícios, contínuo incentivo e motivação.

À Eugénia, agradeço pelos estímulos e incentivos constantes, a dedicação, paciência e compreensão, bem como pela troca de ideias, partilha de conhecimentos e inestimável contributo em todas as fases da realização do presente relatório.

A todos estes e outros que de uma forma direta ou indireta me apoiaram na realização deste relatório de estágio, expresso a minha gratidão.



## Resumo

O presente relatório de estágio foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, com o intuito de, em primeiro lugar, aplicar os conhecimentos obtidos e as tarefas realizadas durante o período de estágio, no Departamento de Investigação de Geografia Humana, da *Facultad de Geografía e Historia da Universidad Complutense de Madrid*; e em segundo lugar, o desenvolvimento de uma metodologia apoiada em *software* SIG, com o objetivo de demonstrar a influência do desenho urbano na cobertura espacial do transporte público.

Sendo o acesso ao transporte público realizado maioritariamente através do modo pedonal, na maior parte das cidades europeias e, inclusive em Madrid, torna-se importante compreender o modo como o desenho urbano pode contribuir para limitar ou facilitar o acesso pedonal ao serviço. Estando a promoção do uso do transporte público no centro da maioria das políticas regionais sobre mobilidade sustentável e transportes, torna-se também essencial potenciar e facilitar a acessibilidade ao serviço. Além disso, o transporte público é, em muitos casos, essencial na mobilidade de muitos grupos sociais, pelo que esta questão envolve não só a temática ambiental, mas também a da justiça e equidade social, no sentido de garantir que o transporte público seja acessível ao maior número de pessoas possível.

Os SIG constituem deste modo, uma ferramenta de grande utilidade, permitindo a realização de análises de cobertura espacial da rede de transporte e de estimação da procura. Estas análises têm particular importância na hora de “fazer cidade”, contribuindo para a identificação das potencialidades e fraquezas das redes de transporte já estabelecidas, mas também para o planeamento de novas redes ou expansão das já existentes.

O presente relatório pode ser dividido em duas diferentes componentes (teórica e prática). Na primeira, aprofunda-se a temática da acessibilidade ao transporte público, realçando a importância da acessibilidade pedonal, e analisando os fatores que a influenciam, com especial destaque para o desenho urbano. São igualmente abordadas as potencialidades dos SIG nesta temática, nomeadamente as diferentes metodologias de análise de cobertura e de estimação da procura potencial, bem como as características da envolvente dos pontos de acesso ao transporte público. Na segunda componente, é avaliado o papel do desenho urbano na cobertura espacial do transporte público, tendo

como caso de estudo a rede de metro do concelho de Madrid (Espanha). Para o efeito, são criadas cinco diferentes redes viárias fictícias, em torno das diferentes estações da rede de metro, sendo comparados os totais de superfície, população e emprego cobertos, entre as diferentes redes criadas e a rede viária atual do município. Nas diferentes análises efetuadas são considerados três distintos limites de distância de análise (400m, 600m e 800m). São ainda aplicados e comparados dois índices que permitem uma análise mais concreta aos fatores permeabilidade e conectividade das redes criadas, bem como os indicadores de qualidade de acesso e sintético de acessibilidade para cada uma das redes, em função da distância à estação. Por fim, é ainda proposta e aplicada uma metodologia no sentido de determinar a procura potencial, avaliando as diferenças entre os diferentes desenhos em análise.

**Palavras-Chave:** acessibilidade, desenho urbano, análises de cobertura, estimação da procura, transporte coletivo, SIG.

## **Abstract**

The following Internship Report was developed within the Geographic Information Systems and Spatial Planning Master's Degree, and intends to, first of all, apply the knowledge obtained and the tasks performed during the internship period. at the Human Geography Research Department from the History and Geography Faculty at the Madrid Complutense University, and on second place, the development of a GIS free-software based methodology, with the purpose to demonstrate the urban design's influence on the public transportation spatial cover.

As the access to public transports is mainly done by pedestrian mode, at most of the European cities and, including Madrid, it becomes important to comprehend in which way urban design can contribute to narrow down or to facilitate the pedestrian access at service. The promotion of the public transportation is at the center of most regional policies about sustainable mobility and transportation, it becomes essential to boost and make it easier the accessibility to the service. Furthermore, public transportation is, in many cases, essential to many social groups mobility, so this question does not only involves the environmental theme, but also justice and social equality, in the sense to guarantee access to public transportation to the biggest number of people possible.

GIS constitutes in this way as a great utility tool, allowing the execution of transportation network spatial cover and demand assessment analysis. These analysis have a certain importance when it comes to "make up city", contributing to the identification of strengths and weaknesses of already established transportation networks, and also for the planning of new networks or the expansion of existent ones. This report can be divided in two distinguished components: a theoretical one, where it's deepened the public transportation accessibility theme, highlighting the pedestrian accessibility importance and analyzing the factors that influence it, specially to the urban design. Equally approached are the GIS potentialities on this theme, namely the different methodologies of cover analysis and potential demand assessment, as well as the characteristics involving the public transport access points. On a more practical component, the role of urban design on public transportation spatial cover is evaluated, having as a study case the Madrid Subway network. For this effect, five different fictional roadway networks are created, around the subway network different stations, being compared the surface totals, populations and cover jobs, between the different

created networks and municipal actual network. Thus, three different analysis distance limits (400m, 600m and 800m) are considered. Are also applied and compared two indexes that allow a more concrete analysis of the permeability and connectivity factors of the created networks, as well as the access quality indicators and accessibility synthesis for each one of the networks, in function of distance until station. At last, a methodology is proposed and applied in the sense to determine the potential demand, evaluating the differences between the different analyzed designs.

**Key-words:** accessibility, urban design, cover analysis, demand assessment, mass transit, GIS.

## Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	iii
Abstract.....	v
Índice de Figuras .....	ix
Índice de Quadros .....	xi
Índice de Tabelas .....	xii
1. Introdução .....	1
1.1 Objectivos do estágio .....	3
1.2 Estrutura do Relatório de Estágio .....	4
2. A Acessibilidade do e ao Transporte Público.....	6
2.1 Importância do acesso pedonal às redes de transporte público .....	9
2.2 A proximidade ao transporte público .....	11
2.3 Área de Influência do serviço de transporte público .....	14
2.4 Factores que afectam a acessibilidade ao transporte público e a sua cobertura de acesso.....	15
2.4.1 Dimensões do ambiente físico/estrutura urbana .....	16
2.4.1.1 Densidade .....	19
2.4.1.2 Diversidade .....	20
2.4.1.3 <i>Design</i> .....	22
2.4.2 Factores socioeconómicos .....	28
2.4.3 Características da estação e da sua envolvente.....	30
3. Análises de Cobertura.....	32
3.1. Áreas de Cobertura e os SIG .....	38
3.1.1 Distâncias euclidianas vs Distâncias de rede.....	47
3.1.1.1 Factores que influenciam a dimensão das áreas de serviço do método de distância euclidiana.....	52
3.1.1.2 Factores que influenciam a dimensão das áreas de serviço do método de distância de rede .....	56
4. Modelos de estimação da procura potencial.....	59
4.1 A importância da proximidade na estimação da procura potencial.....	65
5. Metodologia.....	69
5.1 Enquadramento geográfico.....	69

5.1.1 Rede viária do município de Madrid .....	73
5.2 Dados .....	76
5.3 Distribuição da população e emprego (procura potencial) .....	77
5.4 Definição e desenho dos tipos de redes viárias fictícias a avaliar .....	80
5.5 Delimitação das áreas de serviço e análise da cobertura espacial .....	85
5.6 Índices de medição da Permeabilidade e da Conectividade .....	88
5.7 Indicadores de qualidade de acesso e sintético de acessibilidade .....	90
5.8 Estimação da Procura Potencial .....	92
6. Resultados.....	93
6.1 Cobertura espacial da rede.....	93
6.1.1 Método <i>straight line</i> vs distância de rede .....	93
6.1.2 Influência do desenho urbano .....	101
6.2 Índice de permeabilidade para pedestres .....	116
6.3 Padrão do sistema viário.....	124
6.4 Índice de qualidade de acesso.....	126
6.5 Índice sintético de acessibilidade .....	131
6.6 Estimação da procura potencial.....	132
7. Proposta de aplicação da presente metodologia para o metro do Porto .....	134
8. Conclusão .....	138
Referências Bibliográficas.....	140
Endereços Electrónicos.....	145
Anexos.....	146

## Índice de Figuras

Figura 1 - Acesso e acessibilidade do sistema de transporte público (adaptado de Murray et al., 1998). .....	8
Figura 2 - O “Land Use Transport Feedback Cycle” (versão simplista adaptada de Ho et al., 2011). .....	18
Figura 3 - O “Land Use Transport Feedback Cycle” (fonte: Ho et al., 2011).....	18
Figura 4 - Área de serviço do método <i>buffer</i> euclidiano.....	40
Figura 5 - Áreas de serviço do método polígonos de Thiessen (A); e área de serviço do método polígonos de Thiessen para uma estação periférica (B). .....	41
Figura 6 - Áreas de serviço resultantes da combinação dos métodos distância euclidiana e polígonos de Thiessen (limite de distância de análise de 800 metros).....	42
Figura 7 - Opções de delimitação dos polígonos correspondentes às áreas de serviço da extensão Network Analyst do software ArcMap. ....	43
Figura 8 - Área de serviço do método distância de rede; A – rede viária densa; B – rede viária de densidade diminuta (limite de distância de análise de 800 metros; trim polygon: 25 metros)....	45
Figura 9 - Diferenças nas áreas de serviço dos métodos de distância de rede e straight-line (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008). .....	50
Figura 10 - Influência da distribuição da população na sobrestimação (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).....	51
Figura 11 - Diferenças na sobreposição nas áreas de serviço dos métodos de distância de rede e straight-line (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).....	53
Figura 12 - Diferenças na sobrestimação e sobreposição de áreas de serviço de acordo com a densidade de pontos de acesso ao transporte público; A – estações de Metro; B – paragens de Autocarros Urbanos (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).....	54
Figura 13 - Diferenças na sobrestimação de acordo com a distância limite de análise aplicada (Gutiérrez & García-Palomares, 2008). .....	55
Figura 14 - A influência do desenho urbano na delimitação das áreas de serviço e na sobrestimação: (A) rede ortogonal; (B) rede irregular de baixa densidade (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).....	57
Figura 15 - Influência das barreiras (ex. linha ferroviária) na delimitação das áreas de serviço e na sobrestimação (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).....	58
Figura 16 - Métodos de cálculo da função da distância à estação (all or nothing vs função de distance-decay) de acordo com o método de delimitação das áreas de serviço (distancia euclidiana vs distância de rede (fonte: Gutiérrez et al., 2011). .....	67
Figura 17 - Enquadramento geográfico do município de Madrid e da rede de metro do mesmo. ....	70
Figura 18 - Rede viária do município de Madrid .....	75
Figura 19 - Rede irregular de alta densidade, com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).....	81
Figura 20 - Rede irregular de baixa densidade, com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).....	82
Figura 21 - Rede orientada à estação, com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).....	83
Figura 22 - Rede ortogonal (75mx50m), com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).....	84

Figura 23 - Rede ortogonal (150mx100m), com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).....	84
Figura 24 - Percentagem de sobrestimação, da superfície coberta da área de serviço da estação de metro, do método straight line face ao método de distância de rede: limite de distância de análise de 400 metros (A), 600 metros (B) e 800 metros (C). ....	98
Figura 25 - Percentagem de sobrestimação, da população residente da área de serviço da estação, do método straight line face ao método de distância de rede: limite de distância de análise de 400 metros (A), 600 metros (B) e 800 metros (C). ....	99
Figura 26 - Percentagem de sobrestimação, do número de trabalhadores da área de serviço da estação, do método straight line face ao método de distância de rede: limite de distância de análise de 400 metros (A), 600 metros (B) e 800 metros (C). ....	100
Figura 27 - Diferenças percentuais na superfície coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 400 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	107
Figura 28 - Diferenças percentuais na superfície coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 600 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	108
Figura 29 - Diferenças percentuais na superfície coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 800 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	109
Figura 30 - Diferenças percentuais na população residente coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 400 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	110
Figura 31 - Diferenças percentuais na população residente coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 600 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	111
Figura 32 - Diferenças percentuais na população residente coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 800 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	112
Figura 33 - Diferenças percentuais no número de trabalhadores cobertos, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 400 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	113
Figura 34 - Diferenças percentuais no número de trabalhadores cobertos, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 600 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	114
Figura 35 - Diferenças percentuais no número de trabalhadores cobertos, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 800 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). ....	115
Figura 36 - Rotas da distância real para a rede irregular de alta densidade. ....	121



Figura 37 - Rotas da distância real para a rede irregular de baixa densidade. Figura 38 - Rotas da distância real para a rede ortogonal (75mx50m). .....	122
Figura 39 - Rotas da distância real para a rede ortogonal (150mx100m). Figura 40 - Rotas da distância real para a rede orientada à estação.....	123

## Índice de Quadros

Quadro 1 - Variáveis utilizadas na análise das características do desenho da rede viária (fonte: Amancio, 2005).....	25
--	----

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Elementos e variáveis do desenho urbano analisados por autor (fonte: Rodrigues et al., 2014).....	24
Tabela 2 - Dimensão média dos quarteirões (metros) e escala de penalização (fonte: Rodrigues et al., 2014).....	27
Tabela 3 - Descrição das diferentes opções de delimitação dos polígonos das áreas de serviço da extensão <i>Network Analyst</i> do <i>software ArcMap</i> .....	44
Tabela 4 - Linhas da rede de Metro de Madrid. ....	71
Tabela 5 - Evolução histórica do metro de Madrid (fonte: MetroMadrid, 2014).....	72
Tabela 6 - Média de trabalhadores por ponto de actividade.....	80
Tabela 7 - Diferenças entre os métodos de delimitação na cobertura espacial para o conjunto das estações da rede de metro.....	96
Tabela 8 - Estatísticas básicas da cobertura espacial (população e emprego), de acordo com o método de delimitação, para o conjunto das estações da rede de metro. ....	97
Tabela 9 - Diferenças entre os desenhos da rede viária na cobertura espacial para o conjunto das estações da rede de metro.....	105
Tabela 10 - Estatísticas básicas da cobertura espacial (população e emprego), de acordo com o desenho da rede viária, para o conjunto das estações da rede de metro. ....	106
Tabela 11 - Índice de permeabilidade para pedestres dos diferentes desenhos da rede viária (distância directa de 400 metros). ....	119
Tabela 12 - Índice de permeabilidade para pedestres dos diferentes desenhos da rede viária (distância directa de 600 metros). ....	120
Tabela 13 - Índice de permeabilidade para pedestres dos diferentes desenhos da rede viária (distância directa de 800 metros). ....	120
Tabela 14 - Padrão do sistema viário dos diferentes desenhos da rede viária (limite de distância de análise de 400 metros). ....	125
Tabela 15 - Padrão do sistema viário dos diferentes desenhos da rede viária (limite de distância de análise de 600 metros). ....	125
Tabela 16 - Padrão do sistema viário dos diferentes desenhos da rede viária (limite de distância de análise de 800 metros). ....	126
Tabela 17 - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede irregular de alta densidade.....	129
Tabela 18 - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede irregular de baixa densidade.....	130
Tabela 19 - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede ortogonal (75mx50m).....	130
Tabela 20 - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede ortogonal (150mx100m).....	130
Tabela 21 - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede orientada à estação.....	131
Tabela 22 - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede actual do município de Madrid.....	131
Tabela 23 - Estimação da procura potencial total para as diferentes redes viárias em análise..	133

## Lista de Anexos

Anexo 1 - Variáveis dependentes e independentes utilizadas nos modelos de regressão anteriores, na estimação da utilização do transporte público, ao nível da estação (fonte: Gutiérrez et al., 2011).....	147
Anexo 2 - Áreas de Serviço, das diferentes redes viárias fictícias, para o limite de distância de análise de 400 metros. ....	149
Anexo 3 - Áreas de Serviço, das diferentes redes viárias fictícias, para o limite de distância de análise de 600 metros. ....	149
Anexo 4 - Áreas de Serviço, das diferentes redes viárias fictícias, para o limite de distância de análise de 800 metros. ....	150
Anexo 5 - Cobertura espacial da rede irregular de alta densidade, por freguesias do município de Madrid. ....	151
Anexo 6 - Cobertura espacial da rede irregular de baixa densidade, por freguesias do município de Madrid. ....	153
Anexo 7 - Cobertura espacial da rede ortogonal (75mx50m), por freguesias do município de Madrid. ....	154
Anexo 8 - Cobertura espacial da rede ortogonal (150mx100m), por freguesias do município de Madrid. ....	156
Anexo 9 - Cobertura espacial da rede orientada à estação (150mx100m), por freguesias do município de Madrid. ....	157
Anexo 10 - Diferenças na superfície coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 400 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).....	160
Anexo 11 - Diferenças na superfície coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 600 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).....	161
Anexo 12 - Diferenças na superfície coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 800 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).....	162
Anexo 13 - Diferenças na população residente coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 400 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).....	163
Anexo 14 - Diferenças na população residente coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 600 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).....	164
Anexo 15 - Diferenças na população residente coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 800 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).....	165
Anexo 16 - Diferenças no número de trabalhadores cobertos, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 400 metros:	

Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). .....	166
Anexo 17 - Diferenças no número de trabalhadores cobertos, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 600 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). .....	167
Anexo 18 - Diferenças no número de trabalhadores cobertos, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 800 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E). .....	168
Anexo 19 - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede irregular de alta densidade.....	169
Anexo 20 - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede irregular de baixa densidade.....	169
Anexo 21 - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede ortogonal (75mx50m).....	170
Anexo 22 - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede ortogonal (150mx100m).....	170
Anexo 23 - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede orientada à estação. ....	171
Anexo 24 - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede actual do município de Madrid.....	171
Anexo 25 - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede irregular de alta densidade.....	172
Anexo 26 - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede irregular de baixa densidade.....	172
Anexo 27 - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede ortogonal (75mx50m).....	172
Anexo 28 - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede ortogonal (150mx100m).....	172
Anexo 29 - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede orientada à estação (150mx100m).....	173
Anexo 30 - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede actual do município de Madrid.....	173
Anexo 31 - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para rede irregular de alta densidade.....	173
Anexo 32 - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede irregular de baixa densidade.....	174
Anexo 33 - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede ortogonal (75mx50m).....	174
Anexo 34 - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede ortogonal (150mx100m).....	175
Anexo 35 - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede orientada à estação. ....	175
Anexo 36 - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede actual do município de Madrid.....	176
Anexo 37 - Índice sintético de acessibilidade do emprego (número de trabalhadores) para as diferentes redes viárias em análise. ....	176

## 1. Introdução

As previsões sobre o crescimento populacional apontam para um aumento progressivo, tendência que se evidencia especialmente nas áreas urbanas, contribuindo para uma crescente pressão sobre as infraestruturas de transporte existentes (Murray 1998, Murray 2001). O fornecimento de um adequado serviço de transporte público é um importante elemento da sustentabilidade social, económica e ambiental, e o seu planeamento desempenha um papel fulcral para antecipar os desafios associados ao futuro crescimento populacional e para contribuir para o desenvolvimento das regiões (Murray 1998). O planeamento do transporte público é visto como uma abordagem promissora para alcançar a sustentabilidade urbana (Newman e Kenworthy, 1999 in Wu 2005), sendo o transporte sustentável caracterizado como aquele que “satisfaz as necessidades atuais de mobilidade e transporte sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender a essas mesmas necessidades” (Black, 1996 in Wu 2005). Este crescimento populacional e as características dos espaços urbanos mesclam-se para proporcionar gigantes desafios para o sistema de transporte público (Murray 1998, Murray 2001).

A complexidade e o número de componentes envolvidos no processo de planeamento do transporte público são inúmeros e de natureza diversa. Estas componentes variam desde os projetos das infraestruturas mais importantes, como estações e paragens, rotas de autocarros e sistemas de caminhos-de-ferro, até ao planeamento do tipo de serviço prestado (Murray 1998). Nash (1982) e May & Roberts (1995) realçam a importância dos serviços de transportes públicos, num sistema de transportes bem-sucedido, nomeadamente no papel ativo em assegurar, a longo prazo, a sustentabilidade ambiental e a mobilidade sustentável (Banister et al, 1997 in Murray 1998).

A mobilidade nos espaços urbanos está estritamente relacionada com o planeamento territorial, uma vez que o modelo territorial influencia a mobilidade e o sistema de transportes que a serve, da mesma forma que as alterações na rede de transportes e na mobilidade podem influenciar e contribuir para alterações nos usos do solo (Miralles, 2002 in Cardozo et al. 2010). A mobilidade associada aos modelos territoriais de cidade dispersa (*urban sprawl*) é caracterizada pelo uso intensivo do transporte privado, fomentando o aumento do número de viagens e a sua extensão, contribuindo para a agudização dos problemas que caracterizam os atuais espaços

urbanos, como o congestionamento e poluição ambiental (Cardozo et al. 2010). Em particular, o uso do automóvel é responsável pela maior quota de consumo mundial de petróleo, um recurso não renovável (TRB, 1997 in Wu 2005). Igualmente preocupantes são os diversos e graves problemas de escala ambiental, económica e social causados pelas emissões dos veículos e pelos níveis de congestionamento nas áreas urbanas, cujos níveis têm aumentando exponencialmente na última década, traduzindo-se em custos anuais em tornos dos 40 bilhões de dólares (Newman & Kenworth, 1999; TRB, 1994 in Wu 2005). Num recente *Green Paper* da Comissão Europeia é destacado o facto de as tendências de suburbanização e expansão urbana terem por base modelos de baixa densidade, que promovem a segregação espacial dos usos do solo, contribuindo desta forma para espaços urbanos de mobilidade não-sustentável. Desta forma, urge a necessidade de promover modelos e espaços urbanos que potenciem uma mobilidade sustentável, fomentando as relações de proximidade e as deslocações em modos “limpos”, como as deslocações pedonais, o uso da bicicleta e do transporte público (Banister, 2008; Comissão Europeia, 2007 in Cardozo et al. 2010).

Nesse contexto, torna-se imperioso o desenvolvimento e planeamento de um sistema de transporte sustentável, que promova a utilização do transporte público em detrimento do automóvel privado. É unanimemente reconhecido que o desenvolvimento de um sistema de transporte público adequado é fundamental para alcançar a sustentabilidade regional (Murray et al, 1998 in Gutiérrez 2008). Um importante elemento do processo de planeamento do transporte público passa por garantir que os diferentes modos de transporte público estejam disponíveis e acessíveis ao maior número de utilizadores, particularmente para as franjas da população sem acesso a meios de transporte alternativos, e que simultaneamente seja uma alternativa de transporte viável para aqueles que possuem meios alternativos para se deslocar (Murray 1998, Murray 2001). De facto, um adequado planeamento do sistema de transporte público torna-se essencial para garantir que, neste contexto de crescimento populacional e expansão urbana, as interações sociais e o acesso a bens e serviços possam ser realizados com o menor custo possível, e sejam possíveis ao maior número de pessoas, independentemente das suas características sociais, culturais ou económicas (García-Palomares 2008).

Na temática da acessibilidade ao transporte público, é importante realçar a importância do acesso pedonal, uma vez que este é o principal modo de acesso ao serviço (al. 2003, García-Palomares 2008). Desta forma, torna-se necessário conhecer e

compreender o modo como os padrões específicos do uso do solo, bem como os diferentes modelos territoriais, podem influenciar a mobilidade nos espaços urbanos e o acesso pedonal aos serviços de transporte público (Litman 2010).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm provado a sua utilidade no planeamento do transporte público e na sua relação com o espaço urbano, seja na realização de inventários e de cartografia diversa (das redes, zonas de transporte, variáveis ambientais, etc.), na realização de análises de acessibilidade (na sua dupla perspectiva, de acessibilidade às redes ou a que estas proporcionam aos centros de atividade), na modelação da procura (distribuição dos fluxos às redes) ou na realização de estudos de impacto ambiental (tanto na análise de alternativas como na determinação de traçados e corredores ótimos) (Gutiérrez Puebla, 2006 in García-Palomares 2008).

### **1.1 Objetivos do estágio**

Neste estágio pretendeu-se aprofundar o leque de conhecimentos na temática da análise espacial, com especial foco para a análise de redes em ambiente SIG. Para além de consolidar um conjunto de diversas competências anteriormente adquiridas, este estágio foi igualmente importante no sentido de incorporar novas valências e novas técnicas, permitindo alargar conhecimentos e competências na área da Geografia. Tendo como tema de investigação - “As relações entre o desenho urbano e a cobertura do transporte público: uma análise baseada em Sistemas de Informação Geográfica”, o principal objetivo deste projeto foi o de avaliar o papel do desenho urbano, de acordo com distintos modelos viários fictícios, na cobertura espacial do transporte público, tendo como caso de estudo a rede de metro do concelho de Madrid.

Com este projeto pretendeu-se aplicar diversas metodologias de análise da cobertura espacial, analisando as diferenças observadas, entre os diversos desenhos urbanos em estudo, em termos de área, população e emprego cobertos espacialmente pela rede de metro do município de Madrid. Para além da cobertura espacial, foi dada especial atenção às características dos desenhos urbanos em análise, nomeadamente ao nível da permeabilidade, da conectividade e da acessibilidade de cada uma das redes. Por fim, pretendeu-se analisar a influência do desenho urbano na estimação da procura potencial, realçando o papel do desenho viário e da distância às diferentes estações da rede de metro. A análise da distribuição da população e do emprego, de acordo com as

características da área de estudo e do uso do solo, permitiram igualmente uma melhor compreensão da influência da morfologia urbana nas análises de cobertura.

Todo o trabalho desenvolvido ao longo deste estágio foi de extrema importância, não só para a concretização dos objetivos acima referidos, mas igualmente no aprofundamento do conhecimento e manuseio sobre as mais variadas extensões e ferramentas dos SIG, com especial destaque para a análise espacial e para a análise de redes, em *software ArcGis 10.2*.

A particularidade do estágio se ter realizado em Madrid, foi também importante ao nível da aprendizagem pessoal, não só por ter permitido um contacto *in loco* com uma cidade e uma cultura diferente, mas também no sentido de contactar e compreender diferentes dinâmicas e metodologias de trabalho na área de Geografia.

## **1.2 Estrutura do Relatório de Estágio**

O presente trabalho encontra-se dividido em oito capítulos fundamentais, refletindo as diversas abordagens sobre a temática em estudo.

O primeiro capítulo, de carácter introdutório, apresenta um breve enquadramento do tema, bem como os principais objetivos do presente relatório de estágio. No segundo capítulo, desenvolve-se a componente conceptual referente à acessibilidade ao transporte público, descortinando a sua importância na mobilidade e os vários fatores que a influenciam, com especial relevo para o desenho urbano. No terceiro capítulo aborda-se a importância dos SIG nas análises de cobertura espacial do transporte público, esmiuçando as diferentes metodologias possibilitadas pelas diversas ferramentas. No quarto capítulo, abordam-se os modelos de estimação da procura, analisando os trabalhos anteriormente realizados, bem como a sua importância no planeamento do transporte público

No quinto capítulo, inicia-se a componente empírica deste relatório de estágio, descrevendo a metodologia e os diferentes procedimentos adotados na análise da cobertura espacial das diferentes estações da rede de metro do município de Madrid. Numa primeira fase, realizou-se um breve enquadramento da área de estudo, no que diz respeito às características da rede viária atual do município de Madrid e da atual rede de metro do município. Numa segunda fase, são descritos os dados e as metodologias utilizadas para a realização das diferentes análises à influência do desenho urbano na cobertura espacial das diferentes estações da rede de metro do município. Para além da



descrição das diversas metodologias, são ainda apresentados os diversos desenhos urbanos em análise, bem como os diferentes índices e indicadores utilizados na elaboração deste relatório de estágio

O sexto capítulo é referente aos resultados obtidos, e à discussão dos mesmos, observando-se o modo como o desenho urbano influi na cobertura espacial, destacando as diferenças observadas, a diversas escalas, entre os desenhos viários em análise.

O sétimo capítulo apresenta uma proposta de aplicação da presente metodologia para a rede de Metro do Porto, uma vez que seria interessante analisar a cobertura espacial da atual rede de metro, avaliando as características do desenho urbano na envolvente das estações, e descortinando as diferenças observadas entre as diversas estações que compõem a referida rede de metro.

Por fim, no oitavo capítulo são apresentadas as conclusões finais do trabalho realizado.

## 2. A Acessibilidade do e ao Transporte Público

No planeamento do serviço de transporte público existem dois aspetos fundamentais a ter em conta: a acessibilidade do transporte público e a acessibilidade ao transporte público (Murray 1998). A acessibilidade do transporte público pode ser definida como “a capacidade da rede de transporte público em levar os indivíduos, desde o ponto de entrada no sistema, até ao ponto de saída desse mesmo sistema, num aceitável período de tempo” (Murray 1998, Murray 2001). Por outras palavras pode ser entendida como “a facilidade com que as atividades podem ser alcançadas a partir de um determinado local, por meio de um sistema de transporte específico”(Morris et al., 1979 in Chandra 2013). Esta, por sua vez, é essencial no planeamento do transporte e desempenha um papel proeminente na tomada de decisão (Geurs & Wee, 2004 in Chandra 2013), uma vez que a acessibilidade do transporte público engloba a funcionalidade operacional de um sistema de transporte público (Murray 1998).

Numa perspectiva de planificação do transporte, Littman (2008) e Banister (2008) destacam a alteração atual do paradigma, que pode ser descrito como “um salto desde o paradigma baseado na mobilidade para outro baseado na acessibilidade” (Cardozo et al. 2010). Enquanto o primeiro teve como principal objetivo o aumento do volume de tráfego e a sua velocidade (fundamentalmente através do automóvel privado), o segundo considera a necessidade de favorecer uma maior acessibilidade aos diferentes usos do solo, potenciando também modos de transporte alternativos, ecologicamente mais sustentáveis, com o intuito de mudar os comportamentos de mobilidade (*travel behavior*). Uma vez que considerar a acessibilidade implica ter em conta, não apenas os meios de transporte, mas também as distribuições das atividades a alcançar, assim como a localização e as características de quem procura a mobilidade, este novo paradigma na planificação do transporte supõe a necessidade de incorporar o papel da distribuição dos usos do solo e a sua relação com o sistema de transporte (Hansen, 1959 in Cardozo et al. 2010).

Nas últimas décadas tem-se verificado uma lenta, mas progressiva mudança de paradigma do planeamento do "transporte em massa", no facto de ser dada uma cada vez maior atenção à equidade e à inclusão social, como partes integrantes e fundamentais do processo de planeamento e na acessibilidade ao transporte público. Inicialmente, as temáticas da equidade e da inclusão social foram discutidas em relação às políticas de tarifas, sobretudo na concessão de tarifas de custo reduzido e de

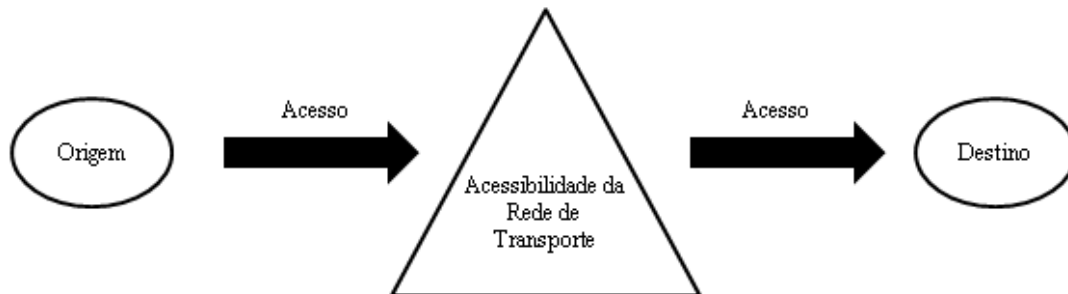
subsídios de transporte, tendo esta perspectiva sido alargada para incluir grupos populacionais com limitações de mobilidade (Ferguson et al., 2012 in Kaplan 2014).

As temáticas da equidade e da inclusão social no planeamento do transporte público surgiram pela primeira vez durante a década de 1990, com a necessidade de integrar a equidade social como uma meta política na prestação do serviço (Masser et al., 1992; Gudmundsson & Höjer, 1996 in Kaplan 2014). No novo milénio, este interesse refletiu-se no surgimento de três principais correntes de pesquisa. A primeira descreve a relação entre o fornecimento do serviço de transporte e a pobreza, exclusão social e bem-estar, tanto para a população geral, como para pessoas com deficiência, pessoas do sexo feminino e pessoas com baixos rendimentos. A segunda corrente propõe modelos conceptuais para incorporar a avaliação da equidade na avaliação do serviço de transporte. A terceira corrente centra-se na integração da avaliação do impacto da equidade no planeamento do transporte e da avaliação do mesmo (Cebollada, 2009; Currie & Delbosc, 2010; Ferguson et al., 2012; Lubin & Deka, 2012; Lucas, 2011; Martens, 2011; Martens et al., 2012; Matas et al., 2010; Monzón et al., 2013; Thomopoulos & Grant-Muller, 2013 in Kaplan 2014).

As três linhas de pesquisa têm na avaliação da equidade, o seu fio condutor comum, e relacionam-se intimamente com a medição da acessibilidade. A equidade é amplamente definida como “o nível de justiça na distribuição dos benefícios”(Kaplan 2014). Esta, por sua vez, é geralmente classificada com base em dois parâmetros: a equidade horizontal, que se refere à justiça na distribuição dos benefícios entre os indivíduos e grupos sociais com igual capacidade e necessidade; e equidade vertical, que diz respeito à igualdade na distribuição dos benefícios entre indivíduos e grupos que diferem em capacidades e necessidades (Litman, 2002 in Kaplan 2014). As lacunas de acessibilidade são definidas como as diferenças de acessibilidade entre áreas geográficas, grupos populacionais e escalas temporais. Essas lacunas de acessibilidade funcionam como indicadores para identificar as desigualdades espaciais, verticais, temporais e inter-geracionais (Martens et al., 2012 in Kaplan 2014).

O acesso ao transporte, que é o foco principal deste trabalho, tem grande impacto no sistema de transporte público e complementa a acessibilidade do serviço. Esta relação é ilustrada na figura 1 (pág. 8), onde se distingue de forma clara o acesso ao transporte público e a acessibilidade do sistema de transporte público. Além disso, num sistema de transporte público, o acesso ao transporte e a acessibilidade do transporte são mutuamente dependentes, e verificando-se melhorias num, ocorrem impactos positivos

no outro. Murray et al. (1998) destaca o facto de num sistema de transporte público bem-sucedido, quer os padrões de acessibilidade do transporte quer de acessibilidade ao transporte, devem ser os melhores possíveis.



**Figura 1** - Acesso e acessibilidade do sistema de transporte público (adaptado de Murray et al., 1998).

O nível de acessibilidade às infraestruturas do serviço de transporte público (estações, paragens, etc.) é um fator essencial e obrigatoriamente uma parte integrante do seu planeamento (al. 2003). O termo de “acessibilidade ao transporte”, pode ser entendido como a “capacidade de residentes e trabalhadores de alcançarem os acessos ao transporte, incluindo paragens de autocarro e/ou estações de comboio/metro” (al. 2003, Murray, 2001 in Mamun 2013). Esta, por sua vez, é afetada por diversos fatores de natureza (social, económica e espacial) e escalas diversas (macro e micro), nomeadamente as características do espaço urbano (*design*, diversidade e densidade – 3Ds) e as características socioeconómicas da população onde se desenvolve o próprio serviço. Estes fatores influenciam a localização das infraestruturas e as necessidades da população, com óbvias consequências na utilização do serviço. Numa perspectiva mais local, também se destaca a influência das características dos percursos na facilidade de acesso ao transporte, sobretudo ao nível do acesso pedonal, nomeadamente os aspetos relacionados com a segurança, qualidade e confortabilidade dos percursos para caminhar em direção às infraestruturas (estações ou paragens), e no caso de acesso não pedonal, a existência de parques de estacionamento na proximidade, quer para veículos motorizados quer para não motorizados (Cervero 1997, Murray 1998, al. 2003, Wu 2005, Cardozo et al. 2010, al. 2011, Gutiérrez 2011, Moniruzzaman 2012).

## **2.1 Importância do acesso pedonal às redes de transporte público**

A circulação pedonal corresponde à forma mais elementar e básica das pessoas se deslocarem. Para além dos óbvios benefícios em termos de saúde e bem-estar, sendo uma atividade saudável e amplamente recomendada por especialistas na área da saúde, a deslocação pedonal é encarada como a melhor forma de mobilidade nos espaços urbanos, sendo destacadamente, o modo mais sustentável de transporte (Li 2005, Magalhães 2010).

Além dos benefícios na saúde e na qualidade de vida, o modo pedonal não é poluente, permite e fomenta o acesso às atividades locais e é acessível a todas as pessoas, sem qualquer tipo de distinção sociodemográfica (Loutzenheiser, 1997; Repolge, 1984 in Chandra 2013, FHWA, 2012; Rocha et al., 2012 in al. 2014). Por outro lado, a presença de pedestres no espaço público influencia na sensação de segurança do espaço urbano e proporciona condições que favorecem as interações pessoais, promovendo a coesão social (Appelyard, 1981; FHWA, 2012; VTPI, 2013 in al. 2014). A mobilidade pedonal sendo altamente localizada, pode interferir positivamente na economia local, pelo facto de promover uma maior interação e proximidade com as diferentes atividades e serviços locais. O custo dessa interação depende da distância entre a origem e o destino (Robusté, 2010; Rodrigues, 2013 in al. 2014). Outro aspeto positivo a destacar, prende-se com o facto do valor dos investimentos em infraestruturas para a mobilidade pedonal ser substancialmente inferior, em comparação com os modos motorizados, além de ser naturalmente a opção mais económica de mobilidade (FHWA, 2012 in al. 2014).

As recentes mudanças nas áreas metropolitanas são caracterizadas pela crescente expansão territorial, dispersão da população, descentralização do emprego e fragmentação do uso do solo. As novas áreas suburbanas foram desenvolvidas com base nas necessidades de mobilidade da população e no aumento do uso de transporte privado, criando assim sistemas de transporte dependentes do automóvel, especialmente nos Estados Unidos, que são contrários aos princípios de mobilidade sustentável (Black, 1996 in Gutiérrez 2008). Contudo, apesar do incremento das dificuldades à mobilidade pedonal, desencadeado pelo progressivo processo de expansão e motorização das áreas urbanas, nas últimas décadas tem-se verificado um aumento dos fluxos de mobilidade

pedonal, sendo que atualmente é o segundo modo de transporte mais utilizado em algumas cidades europeias (Teles, 2006 in Magalhães 2010).

No entanto, a deslocação pedonal, como modo de transporte, tem limitações de variada ordem, nomeadamente a velocidade de deslocação ou o facto de estar dependente das condições meteorológicas ou das características do terreno, além de constituir um modo de deslocação com pouco alcance. Por outro lado, as deslocações pedonais permitem satisfazer as necessidades básicas de mobilidade da população e são a melhor forma de ligação entre os diferentes modos de transporte, nomeadamente no acesso aos diferentes meios de transporte público (Magalhães 2010).

Desde finais da década de 1980, têm surgido ao nível do planeamento urbano e na forma de “fazer cidade”, novas políticas e doutrinas que têm em comum o objetivo da sustentabilidade, através de um planeamento que responda de forma integral à atual realidade política, social, económica e ecológica dos espaços urbanos (Cardozo et al. 2010, Wheeler, 2004 in al. 2014). Em particular, muitos desses movimentos defendem as modalidades de transporte mais sustentáveis, modelos urbanos e desenhos viários que facilitem e fomentem as viagens a pé e o acesso pedonal, através da promoção de ambientes/espacos mais “caminháveis”, da mescla de usos de solo e da diversidade urbana. Alguns desses movimentos estão muito presentes na bibliografia anglo-saxónica e são: *Novo Urbanismo*, *New Traditional Neighborhood Design*, *Smart Growth*, *Transit Oriented Development* e *Livable Communities* (Cardozo et al. 2010, Portugal, 2012 in al. 2014).

No contexto de acessibilidade ao transporte público, o acesso pedonal da população é um fator determinante na escolha modal por parte dos indivíduos (Gutiérrez 2000). Esta questão adquire uma particular importância no atual paradigma de promoção do uso do transporte público, numa perspectiva de objetivar a mobilidade sustentável (Comissão Europeia, 1995; Greene y Wegener, 1997 in Gutiérrez 2000). De facto, a acessibilidade para o transporte é uma questão crítica, quer a partir do ponto de vista da mobilidade sustentável, quer da acessibilidade sustentável (Black, 1996; Weber, 2006 in García-Palomares 2008).

Existe um objetivo permanente em aumentar o número de utilizadores do transporte público, havendo no entanto, a consciência de que a falta de acessibilidade às paragens ou estações, impede que uma larga porção da população utilize o serviço de transporte público. Este problema é frequentemente entendido como a falta de conectividade entre a primeira fase (da origem até ao ponto de transporte) e/ou a última fase (do ponto de

transporte até ao destino) de acesso e as paragens de transporte (ver figura 1- pág. 8). O acesso não motorizado, como o modo pedonal ou a bicicleta, podem muitas vezes resolver este problema de conectividade, embora de forma parcial, uma vez que estes dependem das condições do ambiente físico em torno da paragem/estação (Chandra 2013).

De uma forma geral, se a parte inicial do percurso, isto é, se o acesso desde a origem até à paragem/estação mais próxima, é fácil, cómodo e/ou seguro, o utilizador estará mais recetível à utilização do serviço (Tyler, 1996 in Gutiérrez 2000). Nas áreas urbanas, a maioria dos utilizadores de transporte público acedem ao serviço pedonalmente, e a distância a caminhar é um fator importante na escolha do modo de transporte a utilizar (al. 2003, Gutiérrez 2008, García-Palomares 2013).

De acordo com um estudo de mobilidade<sup>1</sup> realizado em Madrid (Espanha), no ano de 2004, 80% dos passageiros que acedem à rede de metro fazem-no pedonalmente (García-Palomares 2013). Esta tendência verifica-se igualmente nos EUA, onde por exemplo, de acordo com o estudo sobre mobilidade “Transit OnBoard” (TOB), conduzido em 2000, no sudoeste da Florida, 79,8% dos percursos de acesso ao transporte analisados, envolviam o caminhar para as estações ou paragens desde a sua origem, enquanto 75,2% das viagens estudadas envolviam o caminhar das estações ou paragens de transporte até ao destino final (al. 2003).

## **2.2 A proximidade ao transporte público**

Na temática da acessibilidade pedonal ao transporte há um fator determinante a ter em conta: a proximidade. Grande parte dos estudos sobre acessibilidade que incluem o transporte público focam-se no acesso físico, ou seja, na proximidade a uma paragem de transporte (Biba et al., 2010; Currie, 2010; Furth et al., 2007; Gutierrez e Garcia-Palomares, 2008; Hsiao et al., 1997; Kimpel et al., 2007; Lovett et al., 2002; Zhao et al., 2003 in Mavoa 2012). Como já anteriormente referido, o acesso é “o processo associado à entrada e saída de pessoas das paragens ou estações” (Gutiérrez 2008), ou de um modo geral, pode ser entendido como uma “oportunidade para potenciais utilizadores se deslocarem de onde estão, até ao serviço de transporte” (Murray 1998, Wu 2005). No

---

<sup>1</sup> Estudo realizado pelo Consórcio de Transportes de Madrid, em 2004, sobre os padrões de mobilidade no concelho de Madrid abrangendo a utilização dos diferentes modos de transporte, num total de 263 044 viagens analisadas (Consortio Transportes Madrid, 2005).

acesso, a distância tem um efeito de dissuasão significativo, uma vez que “quando a separação física de um indivíduo para um ponto de acesso ao transporte diminui, a probabilidade de usar os serviços de transporte público aumenta” (Griffith & Jones, 1980 in al. 2012). Se as distâncias ou barreiras de acesso<sup>2</sup> a um serviço de transporte público são muito significativas, quer na origem da viagem ou no destino, então é pouco provável que esse serviço seja utilizado (Gutiérrez 2008, al. 2012).

Segundo Beimbron et al. (2003), a acessibilidade espacial, em relação ao sistema de transporte, é o principal determinante do uso do serviço, e verificando-se essa tal acessibilidade, fatores como o custo, conforto ou fiabilidade são considerados posteriormente (García-Palomares 2013). Ou seja, a distância pedonal para e desde a paragem de transporte é negativamente proporcional à utilização do transporte e ao acesso pedonal ao transporte (Alshalalfah & Shalaby, 2007; Cervero et al., 2009; Greenwald & Boarnet, 2001; Hess, 2009; Kitamura et al., 1997; Loutzenheiser, 1997; O’Sullivan & Morrall, 1997; Olszewski & Wlbowo, 2005; Sanchez, 1999; Zhao et al., 2003 in Gutiérrez 2011, Moniruzzaman 2012). Isto é, quanto maior a distância em relação às infraestruturas de acesso ao transporte (paragens ou estações), menor a disponibilidade das pessoas para aceder pedonalmente e, por consequência, menor a utilização desse mesmo transporte (al. 2003, Griffith & Jones, 1980 in al. 2012).

Contudo, o critério de proximidade pode ser alterável consoante diferentes circunstâncias ou espaços específicos (Murray 1998), nomeadamente as características das estações e o tipo de serviço prestado (tipo de estação, número de linhas, número de acessos, etc.) (García-Palomares 2008, Moniruzzaman 2012) e as características socioeconómicas da população (Gutiérrez 2011, Moniruzzaman 2012, García-Palomares 2013). Neste caso, é possível identificar uma relação entre a presença de paragens ou estações de transporte público, tipo e frequência de serviço e a densidade/disponibilidade de rotas com o acesso e a utilização do transporte público (Moniruzzaman 2012). De uma forma geral, a maioria dos estudos indicam uma relação

---

<sup>2</sup> As barreiras de acesso são os obstáculos no percurso entre o ponto de partida e o ponto de acesso ao transporte público e que obriga a percorrer maiores distâncias para contorná-los. Estas barreiras podem ser classificadas entre barreiras naturais (rios, lagos, encostas de grande declive, etc) e artificiais ou feitas pelo homem (auto-estradas, linhas ferroviárias, muros comunitários, etc.) Gutiérrez, J. G.-P., Juan Carlos (2008). "Distance-measure impacts on the calculation of transport service areas using GIS." *Environment and Planning B: Planning and Design* **35**: 480-503.



positiva destes fatores com a utilização ou o acesso pedonal a estações de transporte público (Alshalalfah & Shalaby, 2007; Cervero et al., 2009; Johnson, 2003; Taylor et al., 2009 in Moniruzzaman 2012).

Desta forma, constata-se que a população está disposta a caminhar distâncias superiores para aceder a uma rede cujas estações se encontrem mais espaçadas, em comparação com outra onde se verifique uma maior densidade de estações (García-Palomares 2008). Isto é verificável no facto de haver uma maior predisposição para caminhar maiores distâncias para aceder a uma estação da rede de metro ou de comboio (menos densa), do que para aceder a uma paragem da rede de autocarros urbanos (mais densa) (Gutiérrez 2008, García-Palomares 2013). Por exemplo, numa pesquisa realizada em Sidney (Austrália), obteve-se uma distância média percorrida de 573m para aceder a todo os meios de transporte público, mas esta distância quase duplica para o transporte ferroviário em comparação com o autocarro (805m versus 461m, respectivamente) (al. 2012).

Taylor e Miller (2003) também mostraram que as variáveis da qualidade de serviço estão positiva e significativamente relacionadas com a utilização do transporte (Moniruzzaman 2012). Vários estudos acerca da acessibilidade ao transporte público demonstraram que as distâncias percorridas pedonalmente podem variar de acordo com os diferentes tipos de grupos sociais, espaços e estações/paragens. Por exemplo, num estudo de Lam e Morrall (1982) verifica-se uma distância caminhada média de 327m (450m no 75º percentil) para aceder às paragens de autocarro em Calgary (Canadá). Neste estudo, os autores constataram também que as maiores distâncias percorridas verificavam-se em áreas residenciais em comparação com as industriais. Na mesma cidade, O'Sullivan e Morrall (1996) obtiveram uma distância caminhada média de 649m, para aceder a estações ferroviárias localizadas nos subúrbios (840m no 75º percentil), mas estes valores diminuía para os 326m, na análise das estações localizadas no CBD (*Central Business District*) (419m no 75º percentil). Estas diferenças são igualmente observáveis para o tipo de estação. No caso das estações ferroviárias suburbanas, O'Sullivan e Morrall (1996) verificaram uma maior distância caminhada média para estações terminais ou estações com possibilidade de troca de linha (1100m), em comparação com as estações intermédias (450m). No entanto, os valores da distância caminhada média observados nas estações do CBD foram menores. Por fim, os mesmos autores verificaram maiores distâncias médias caminhadas nos homens comparativamente com as mulheres, na análise efetuada para estações

ferroviárias suburbanas. Relativamente ao CBD, essas diferenças não eram significativas (García-Palomares 2013).

### **2.3 Área de Influência do serviço de transporte público**

O fator proximidade ao serviço de transporte público está relacionado com a área de influência do mesmo, sendo uma medida da cobertura espacial, quer ao nível da estação quer ao nível global da rede, constituindo um importante determinante na acessibilidade ao transporte público (Mamun 2013). A cobertura de acesso é essencial no planeamento do transporte público, pois este é o meio pelo qual o serviço é prestado aos utilizadores (Wu 2005, Gutiérrez 2008). De facto, Larwin (1999) realçou o papel da cobertura de acesso, no sentido de os utilizadores não poderem utilizar um serviço ao qual não podem aceder (Wu 2005). Considera-se uma pessoa “coberta” pelo transporte público, caso tenha um certo nível de acesso adequado a uma paragem/estação, sendo a cobertura de acesso um importante foco na avaliação nos sistemas de transporte público (Benn, 1995 in Wu 2005). Desta forma, maximizar a área total com condições de acesso ao transporte é muitas vezes um objetivo explícito da política operacional das regiões urbanas (Murray 2001, Nelson e O’Neil, 1983 in Wu 2005).

Como salientado por O’Sullivan e Morrall (1996), conhecer a distância total que os utilizadores do transporte público estão dispostos a caminhar para aceder ao serviço tem uma importância fulcral para os planeadores e demais agentes, em determinar a área de influência de cada estação ou paragem de transporte público (al. 2012). Numa recente pesquisa, Daniels e Mulley (2011) destacaram que o modo de transporte ferroviário e o autocarro têm uma maior impacto nos limites de distância a caminhar até ao transporte público (al. 2012).

De acordo com Grava (2003), é expectável que uma paragem de autocarros atraia utilizadores dentro de uma distância de ¼ de milha (aproximadamente 400m), enquanto uma estação de metro pode atrair utilizadores dentro de uma distância de ½ milha (aproximadamente 800m). Estes limites-padrão de distância pedonal são representados na maioria das pesquisas sobre transporte (Currie, 2010; Hsiao et al., 1997; Peng et al., 1997; Kuby et al., 2004; Murray, 2001; O’Neill et al., 1992; Zhao et al., 2003 in Mamun 2013). No entanto, estes limites de distância são normalmente aplicados nos trabalhos anglo-saxónicos (O’Neill et al., 1992; Hsiao et al., 1997; Murray, 2001; Zhao et al., 2003 in Cardozo et al. 2010), uma vez que, por exemplo em Espanha, Gutiérrez et al.,

(2002) aplicaram os limites de 300 e 600 metros na determinação da acessibilidade ao transporte público. Estes limites representam a distância máxima que a maioria da população está disposta a caminhar para aceder ao transporte público (Cardozo et al. 2010).

Stringham (1982) verificou que o limite de distância no qual um utilizador de transporte ferroviário escolhe aceder a uma estação ferroviária através do autocarro, em substituição do acesso pedonal (acessibilidade ao nível da estação), é de cerca de 3200ft (aproximadamente 1km) (al. 2012). Kim e Nam (2013), através de um inquérito a utilizadores do transporte ferroviário, de sete estações da rede de Seul (Coreia do Sul), constataram que a dimensão da área de influência, ou seja a distância que esses utilizadores caminhavam para aceder ao serviço de uma estação ferroviária, era de 462m (Sung 2014). Normalmente, uma distância pedonal de 400m ou de 5min é considerada como uma distância padrão razoável de acesso para paragens de autocarro nas áreas urbanas (Ammons, 2001; Demetsky e Lin, 1982; FTA, 1996; Levinson, 1983; Schobel, 2005 in al. 2012).

De uma forma geral, pode-se concluir que os potenciais utilizadores do transporte estão disponíveis para aceder aos acessos de maior proximidade, caso estes tenham níveis de atratividade equivalentes (Farhan & Murray, 2006 in al. 2012). Contudo, existe uma predisposição para caminhar distâncias superiores para aceder a estações/paragens de transporte mais atrativas, mesmo na presença de acessos ao transporte com maior proximidade, embora com níveis de atratividade inferiores (Daniels & Mulley, 2011 in al. 2012).

## **2.4 Fatores que afetam a acessibilidade ao transporte público e a sua cobertura de acesso**

Como referido anteriormente, existem diversos fatores que influenciam a acessibilidade pedonal ao transporte público, refletindo-se na capacidade de cobertura do serviço. Estes fatores podem ser classificados em três diferentes tipos: dimensões do ambiente físico/estrutura urbana, fatores socioeconómicos e características da estação e da sua envolvente (Gutiérrez 2011).

#### 2.4.1 Dimensões do ambiente físico/estrutura urbana

O acesso pedonal ao transporte público é diretamente influenciado pela estrutura urbana da área onde esse serviço de transporte se desenvolve. A forma urbana e o uso do solo relacionam-se com o transporte, influenciando-se mutuamente, uma vez que o transporte afecta o uso do solo e vice-versa, e as decisões tomadas sobre um acarretam consequências sobre o outro. Desta forma, é importante coordenar as decisões do planeamento do transporte e do uso do solo, para que estas funcionem de forma complementar e não contraditória. O objetivo passa por assegurar que as decisões no planeamento do transporte favoreçam os objetivos do planeamento do uso do solo e vice-versa. Para o efeito, é necessário conhecer e perceber o modo como os padrões específicos do uso do solo afetam a mobilidade e o acesso pedonal aos serviços de transporte público (Litman 2010).

A procura de soluções para os problemas de mobilidade regional, a partir de uma perspectiva da planificação do território, passa por afirmar o carácter circular das relações entre a organização espacial, o desenvolvimento dos meios de transporte e a mobilidade. O modelo territorial tem influência na mobilidade e no sistema de transportes que a serve, da mesma forma que também as alterações na rede de transportes e na mobilidade facilitam as alterações territoriais (Miralles, 2002 in Cardozo et al. 2010). Neste sentido, o planeamento territorial converte-se numa ferramenta fundamental para gerar modelos de mobilidade sustentável, pois pode definir os parâmetros de localização e a intensidade dos diferentes usos no espaço, determinando assim, as características da procura e os tipos de modos de transporte adequados para a sua satisfação (Pozueta, 2005 in Cardozo et al. 2010). As decisões do planeamento do transporte influenciam diretamente o uso do solo, afetando a área total destinada às infraestruturas de transporte, a sua localização e os padrões do seu desenvolvimento. Por exemplo, a expansão das vias rodoviárias aumenta a área total pavimentada e encoraja um desenvolvimento mais disperso, orientado para o uso do automóvel (*urban sprawl*), enquanto a promoção dos modos não motorizados e a promoção de medidas que visem a melhoria da qualidade dos transportes públicos, podem contribuir para um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável, baseado nos modelos urbanos compactos e densos (*smart growth*) (Litman 2012).

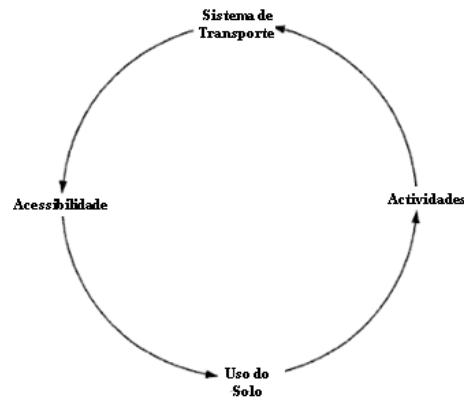
As relações entre o uso do solo e o transporte são a base principal de vários projetos comunitários relacionados com estes temas. Entre esses projetos destacam-se o

DANTE, o EUNET, o PROPOLIS, o PROSPECTS, o TRANSLAND e o TRANSPLUS (Commission 2003).

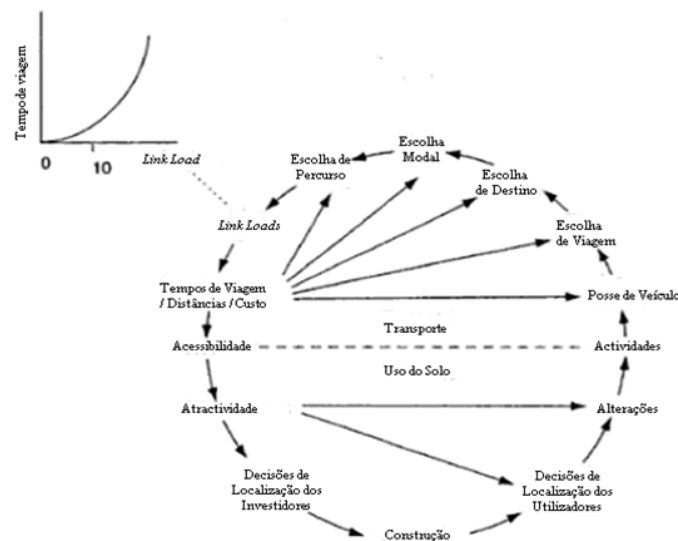
- DANTE foca-se na forma urbana como um meio para reduzir as necessidades de viagem, quer em termos de modo, tempo e destinos de comutação, bem como ao nível da alteração dos modos de transporte para satisfação das necessidades de mobilidade;
- EUNET: promove o desenvolvimento de um método abrangente para modelar e avaliar os impactos socioeconómicos e espaciais dos investimentos em infraestruturas de transporte e das melhorias do sistema de transporte;
- PROPOLIS: propõe a pesquisa, desenvolvimento e teste de políticas integradas de uso do solo e de transporte, de ferramentas e metodologias de avaliação abrangentes, com o intuito de definir estratégias urbanas sustentáveis a longo prazo e a demonstração dos seus efeitos nas diferentes cidades europeias;
- PROSPECTS: propõe diretrizes e procedimentos para gerar estratégias ideais de planeamento do uso do solo e do transporte, no sentido de encarar o desafio da sustentabilidade nas cidades europeias;
- TRANSLAND: propõe a análise de políticas inovadoras de transporte integrado e de ordenamento do território ao nível urbano, e das condições institucionais relacionadas;
- TRANSPLUS: propõe a identificação das melhores práticas na organização do uso do solo e do transporte, no sentido de reduzir a dependência do automóvel privado nos espaços e regiões urbanas, bem como a promoção de medidas de melhoria económica, social e ambiental na Europa.

Nas últimas décadas, foram realizadas inúmeras pesquisas, a vários graus de profundidade e refinamento, sobre o modo como o ambiente físico influencia a procura pelo transporte público (Cervero 1997).

Nos EUA, o *Land Use Transport Feedback Cycle* é usualmente utilizado no estudo das inter-relações entre uso do solo e transporte (figuras 2 e 3 – pág. 18).



**Figura 2** - O “Land Use Transport Feedback Cycle” (versão simplista adaptada de Ho et al., 2011).



**Figura 3** - O “Land Use Transport Feedback Cycle” (fonte: Ho et al., 2011).

Este ciclo pode ser resumido como se segue (Wegener, 2004 in al. 2011).

- A distribuição de usos do solo, tais como residencial, industrial ou comercial, sobre a área urbana, determina a localização das atividades humanas, tais como a habitação, emprego, comércio, educação ou lazer;
- A distribuição das atividades humanas no espaço requiere interações espaciais ou percursos no sistema de transportes para superar a distância entre as localizações das atividades;
- A distribuição das infraestruturas no sistema de transportes cria oportunidades para interações espaciais, e podem ser avaliadas como acessibilidade;
- A distribuição da acessibilidade no espaço codetermina as decisões de localização, resultando assim em mudanças no sistema de uso do solo.

Cervero e Kockelman (1997) definiram as três principais dimensões (3Ds)<sup>3</sup> da influência do ambiente físico na acessibilidade ao transporte público e na procura pelo mesmo: densidade, diversidade e *design*, sendo este último o principal enfoque deste trabalho (Gutiérrez 2008, Gutiérrez 2011).

#### 2.4.1.1 Densidade

A densidade urbana é um fator crítico na utilização do transporte público, havendo uma relação positiva entre a densidade populacional e a utilização do serviço, sobretudo à escala da paragem/estação (Seskin & Cervero, 1996). A importância da densidade urbana reflete-se, no facto de “quanto maior for o número de pessoas que vivem ou trabalham na proximidade dos acessos ao transporte público, maior será a probabilidade do serviço ser utilizado” (Murray 1998). Conforme Rocha et al. (2012), a densidade é a intensidade do uso do solo em termos de habitação, emprego e outras atividades, numa determinada área (al. 2014). Por exemplo, nos EUA, os críticos do transporte ferroviário argumentam que as cidades norte americanas não têm, nem empregos suficientes no centro da cidade, nem residentes suficientes ao longo das suas rotas para gerar um substancial número de utilizadores do serviço (Gutiérrez 2011).

A densidade de residentes e de emprego, associados a uma maior aglomeração e a um rápido acesso às paragens/estações de transporte público, têm uma correlação positiva com a procura por transporte público (Commission 2006, Campos s.d.). Isto reflete-se no facto de as áreas urbanas compactas diminuírem as necessidades de mobilidade motorizada e promoverem a não-motorizada, uma vez que, havendo uma maior aproximação física entre origens e destinos, existe uma maior disponibilidade para caminhar ou pedalar até ao destino, em detrimento da utilização do veículo privado. Além disso, os bairros compactos tendem a possuir menos parques de estacionamento, melhor qualidade nos serviços de transporte público e maiores mesclas de usos do solo, fatores que estão associados à redução do uso do automóvel privado e ao incremento da mobilidade pedonal (Cervero 1997).

O *Land Use and Regional Planning* (Commission 2006) destaca o impacto da densidade residencial na escolha modal, uma vez que esta se encontra positivamente

---

<sup>3</sup> Termo referente às três dimensões do ambiente físico (densidade, diversidade e *design*) introduzido por Cervero e Kockelman (1997) e amplamente utilizado na literatura (ver por exemplo Tumlin & Millard-Ball (2003); Currie (2006);

relacionada com o uso do transporte público e negativamente relacionada com o uso do automóvel privado. O mesmo é verificado na densidade de empregos, onde existe uma maior probabilidade no uso do transporte público.

Holtzclaw (1990) com recurso a dados da área da baía de São Francisco (EUA), procurou relacionar a VMT<sup>4</sup> com a densidade e, em 1994, o mesmo autor para a mesma área de estudo, relacionou a VMT com a densidade e a acessibilidade do transporte público. Para o efeito, a região foi dividida em cinco áreas de vizinhança, caracterizadas em termos de densidade residencial líquida, densidade populacional bruta e densidade de empregos, e em 1994, adicionou a esta metodologia, índices de acessibilidade de atividades comerciais e de acessibilidade pedonal. Os resultados obtidos foram VMTs distintos para cada tipo de vizinhança, que apresentavam características de densidades diferentes. Além disso, Holtzclaw (1994) observou que quando as densidades residenciais, populacionais e comerciais, e de transportes público diminuam, a taxa de propriedade de veículo privado aumentava, assim como a VMT. Duplicando a densidade residencial ou populacional, a VMT *per capita* diminuía em cerca de 20 a 30%. Os resultados, numa primeira análise podem ser vistos como contraditórios pelo facto de, normalmente, ao número de habitantes estar diretamente relacionado o número de automóveis, explicam-se pela alteração do modo de deslocação, do automóvel para o modo pedonal, devido à adequação das vias à mobilidade/acesso pedonal, e às pequenas distâncias das deslocações (Campos s.d.).

#### **2.4.1.2 Diversidade**

Os tipos de usos do solo e a sua composição/distribuição, também influem na utilização e na procura pelos serviços de transporte público, embora num grau inferior comparativamente com a densidade (Owens, 1986 in al. 2011, Parsons Brinckerhoff, 1996 in Gutiérrez 2011). A diversidade de usos do solo refere-se à sinergia criada pela proximidade dos diferentes usos do solo (residencial, comercial, serviços, etc.), que

---

<sup>4</sup> VMT (*Vehicle Miles Traveled*) refere-se ao comprimento/distância e à quantidade de viagens feitas por veículo. Ela diminui quando a distância da viagem é menor (áreas mais compactas) e quando se diminui a necessidade de deslocamento, ou pela supressão desta (como por exemplo, trabalho em casa) ou pela troca de meio de transporte – do automóvel para outros meios, ou colectivos (transporte público), ou ainda para modos de transporte não motorizados (bicicleta ou a pé) (Campos & Melo, s.d.; Ewing & Cervero, 2001).



contribui para a diminuição das distâncias entre origens e destinos. Vários estudos abordam a importância da diversidade na redução das deslocções de automóvel privado, sendo este substituído pelas deslocções pedonais ((Boarnet & Crane, 2001; Cervero, 1996; Cervero & Kockelman, 1997; FHWA, 2000; Moudon et al., 1997; Handy & Clifton, 2002; Shriver, 1997 in Amancio 2005).

A mescla de diferentes usos do solo (diversidade) contribui para uma procura mais equilibrada pelo transporte público, sobretudo numa perspectiva temporal, reduzindo as diferenças entre os períodos de pico de maior utilização e os de menor utilização, e espacial, no que diz respeito à direção de fluxos (Cervero 2006, Cardozo et al. 2010). Isto está relacionado com o facto de os usos do solo relacionados com o emprego e a residência, “produzirem” deslocções concentradas num curto período de tempo (horas de ponta), numa direção ou outra (movimentos pendulares). Outras, como o comércio, a restauração ou atividades relacionadas com o lazer, geram viagens distribuídas temporalmente. Quando se verifica essa mescla de usos do solo há uma maior probabilidade de haver uma distribuição mais uniforme de deslocções, mitigando os períodos de pico, produzindo eficientes fluxos de viagens bidirecionais. Quando existe uma proximidade entre atividades relacionadas (*clustering*) ou se mesclam diferentes tipos de atividades, aumenta a utilidade do transporte público, pois numa mesma viagem podem ser realizadas vários tipos de atividades distintas, fazendo com que a mescla de usos garanta um fluxo de deslocções equilibrado (Cervero, 2004 in Cardozo et al. 2010).

Por exemplo, Fillion (2001) reconheceu o impacto da diversidade, no facto de os centros suburbanos de uso do solo misto terem taxas de utilização do transporte público, significativamente mais elevadas, em comparação com as típicas áreas suburbanas, onde essa diversidade é bastante reduzida (Gutiérrez 2011). A mescla de usos de solo pode contribuir para uma maior procura de transporte público, particularmente através da descentralização do emprego menos especializado (Banister, 1997 in al. 2011). Os ambientes de uso misto, fomentam a utilização do transporte público, o acesso pedonal ou a bicicleta para muitas das suas viagens, diminuindo assim, ou pelo menos não incrementando, o congestionamento, criando assim condições para um ambiente mais habitável para a população (Eboli 2014).

Um exemplo concreto da importância da diversidade tem a ver com a localização de atividades comerciais dentro dos bairros, o que pode contribuir para um aumento da mobilidade não-motorizada (pedonal ou de bicicleta), que substituem as viagens

externas (i.e. fora do bairro) de veículo privado (Handy, 1993; Cervero & Radisch, 1996 in Cervero 1997). A localização de mercearias e atividades similares entre as paragens de transporte público e as habitações pode incentivar os movimentos pendulares de transporte público, permitindo que as pessoas unam as viagens de trabalho e de aquisição de bens, no regresso a casa (Cervero 1997).

#### **2.4.1.3 Design**

O *design* ou desenho urbano<sup>5</sup> engloba a dimensão física espacial das cidades. Deve articular e englobar as boas práticas da Arquitetura, do Urbanismo e da Engenharia de Transportes na promoção das potencialidades do ambiente construído e na conversão das suas limitações em oportunidades, de forma a aproveitar e promover a interação social, a vitalidade comercial e a eficiência da cidade (Villota, 2001; Del Rio, 2004; Cuthbert, 2005 in al. 2014). O desenho urbano, ao considerar o pedestre como elemento central, é capaz de afetar diretamente o número das deslocações pedonais nas diferentes áreas, bem como a facilidade de acesso às infraestruturas de transporte público (paragens e estações), de acordo com a estruturação das suas ligações e instalações (VTPT, 2007; Frenkel, 2008 in al. 2014).

O desenho urbano é formado por um conjunto de vias que atendem a diferentes modos de transportes e utilizadores, e configura-se numa rede que pode assumir diferentes formas como rectilíneas e uniformes (rede em malha), retas e curvilíneas com um centro em comum (rede radial ou estrela) ou irregulares (Rodrigues et al., 2009; Stantec, 2010; Mitra et al., 2010; ITE, 2011 in al. 2014). As vias caracterizam uma rede que pode assumir diversos caminhos, formados por nós (intersecções e travessias) e ligações (ruas e calçadas) (Blumenfeld-Lieberthal, 2009; Rodrigues et al., 2009; Reggiani et al., 2010 in al. 2014).

A influência da estrutura urbana na procura e na utilização de transporte público reflete-se no facto de os bairros que, pelas características da sua rede viária, são mais propícios à mobilidade pedonal, favorecendo o acesso pedonal às estações, traduzindo-

---

<sup>5</sup> Na bibliografia consultada são aplicadas diferentes denominações: forma urbana (ex. Gutiérrez & García-Palomares, 2008; Murray et al., 1998), desenho urbano (ex. Cardozo et al., 2010); *design* urbano (Cervero & Kockelman, 1997; Ewing & Cervero, 2001; Gutiérrez et al., 2011) ou estrutura urbana (Transportation Research Board, 1996).

se numa maior utilização do serviço de transporte público (Cervero, 2002; NZTA , 2007 in al. 2014).

Neste aspeto, os modelos tradicionais de ruas em malha regular (traçado ortogonal), com pequenos quarteirões e com uma rede viária composta por ruas bem conectadas, facilitam o acesso pedonal ao serviço de transporte. No entanto, as novas urbanizações da periferia (*urban sprawl*), predominantemente concebidas para o transporte privado, têm como principais características o seu viário irregular, com quarteirões amplos, ruas com pouca conectividade, e muitas delas sem continuidade (*cul-de-sac*) (Hsiao et al., 1997; Loutzenheiser, 1997; Zhao et al., 2003 in Cardozo et al. 2010). Neste tipo de desenho urbano, a rede viária tende a ser 'fechada' por um modelo de “sistema de rua local” que limita o acesso às principais vias, onde normalmente se encontram as paragens e estações de transporte público. Este tipo de desenho de bairro suburbano é “inimigo do trajeto pedonal” e tem grandes implicações para o sistema de transportes, uma vez que tende a incrementar o uso do transporte privado, reduzindo a utilização do transporte público (Allan, 2001; Boarnet & Crane , 2001; Cervero & Kockelman, 1997; Moudon et al., 1997; Shriver, 1997 in Amancio, 2005; Zhao et al, 2003 in Gutiérrez 2008).

Nos últimos anos, muitos estudos sobre uso do solo e transporte têm respondido a este problema promovendo o neotradicionalismo, com a sua ênfase no *design* urbano orientado ao transporte (TOD – *Transit Oriented Development*) (Hsiao et al, 1997; Loutzenheiser, 1997 in Gutiérrez 2011). O principal intuito na promoção deste tipo de modelos urbanos, passa por recuperar os princípios básicos da cidade tradicional (alta densidade e mescla de usos do solo) (Litman 2010), com um desenho urbano que favoreça a mobilidade pedonal, nomeadamente o radial, verificando-se assim uma distribuição mais uniforme entre origens e destinos. Nos TOD propõem-se um perímetro médio para os quarteirões não superior a 1350 pés (pouco mais de 400 metros). Isto permite gerar uma rede viária com quarteirões de pequena dimensão, que dispersa o tráfego automóvel e permite criar um ambiente tranquilo e mais propício para o peão (Cardozo et al. 2010). Cervero (1994) analisou os benefícios dos TOD, mostrando que nas estações localizadas em áreas com implementação deste tipo de modelos, verifica-se um aumento considerável na procura do transporte público, que pode ser até cinco ou seis vezes superior em comparação com estações localizadas em áreas com outro tipo de modelos urbanos (Cardozo et al. 2010).

A adoção de modelos urbanos com uma rede viária bem estruturada pode resultar na mudança no comportamento da mobilidade (*travel behavior*), reduzindo o domínio dos modos motorizados e incrementando a acessibilidade às diversas atividades através de modos não motorizados (Frenkel, 2008 in al. 2014). Uma rede viária adequada e bem conectada oferece ligações apropriadas entre origens e destinos, incluindo os percursos para os pontos de acesso ao autocarro, estações e terminais de transporte público, dentro do ambiente construído (Moudon et al., 2002 in Cervero 2006). É igualmente importante que, no acesso pedonal, o desenho urbano tenha em conta o comprimento e o número de percursos, pois estes devem ser compatíveis com as distâncias a caminhar (al. 2014), uma vez que, como já abordado anteriormente, os pedestres possuem limitações físicas que restringem o seu alcance e a sua área total de acesso (Rocha et al., 2012 in al. 2014).

Alguns autores estudaram um conjunto de elementos que abordam a influência do desenho urbano na propensão para a mobilidade pedonal, como pode ser observado na seguinte tabela.

Elementos		Cervero e Kockelman (1997)	Cervero e Duncan (2003)	Krizek (2003)	Cervero et al. (2009)
Áreas de estudo		321 metros de raio	1.600 metros de raio	800 metros de raio	500 e 1000 metros de raio
Dimensões complementares		Densidade e Diversidade	Densidade e Diversidade	Densidade e Diversidade	Densidade e Diversidade
Modos de transporte		Deslocações não motorizadas (a pé e bicicleta)	Deslocações não motorizadas	Pedonal	Pedonal (deslocações não recreativas)
Desenho urbano	Nós	Proporção de cruzamentos em “cruz”	Densidade de intersecções	Cruzamentos em “cruz”; Densidade de intersecções	Proporção de intersecções; Índice de conectividade (nós – intersecções / ruas – ligações)
	Ligações	Número de ruas sem saída ( <i>cul-de-sacs</i> )			Rota direta; Densidade de ligações (área da rede viária/área total)
	Quarteirões	Número de quarteirões; Padrão predominante (malha regular, malha curvilínea, etc.)	Dimensão média dos quarteirões	Dimensão média dos quarteirões; Densidade de quarteirões	Dimensão média do lote (m <sup>2</sup> ); % dos quarteirões contendo moradias e controle de acesso; Percentagem de lotes quadriláteros

**Tabela 1** - Elementos e variáveis do desenho urbano analisados por autor (fonte: Rodrigues et al., 2014).

No entanto, as variáveis mais utilizadas na literatura para descrever as características do desenho da rede viária são resumidas no seguinte quadro.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permeabilidade para pedestres</li> <li>• Dimensão média dos quarteirões</li> <li>• % de cul-de-sacs</li> <li>• Número de quarteirões por hectare</li> <li>• Número de intersecções por hectare</li> <li>• Comprimento linear das vias por hectare</li> <li>• % de intersecções em “cruz”</li> <li>• % de intersecções em “T”</li> <li>• Número de intersecções em “cruz”/número de intersecções total</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de intersecções / quilómetro de via</li> <li>• Declividade média das vias</li> <li>• Largura média das vias</li> <li>• Comprimento das vias / hectare</li> <li>• % de área ocupada pela rede viária</li> <li>• Número de segmentos de via / número de intersecções</li> <li>• Percentagem de intersecções conectadas</li> <li>• Comprimento médio dos quarteirões</li> </ul>
---	--

**Quadro 1** - Variáveis utilizadas na análise das características do desenho da rede viária (fonte: Amancio, 2005).

Handy (1996) realizou um estudo com o intuito de analisar a influência das características do desenho da rede viária na escolha do modo de transporte. Neste estudo, comparou-se as características da rede viária com as características domiciliares (por exemplo, posse de veículo automóvel, número de deslocações diárias dos moradores, entre outras). Os resultados mostraram que os efeitos causados pelas características da rede viária são mais significativos que os efeitos das características domiciliares, no que se refere ao tempo, frequência e variedade de destinos dos percursos, entre áreas com desenhos tradicionais em forma de grelha (ortogonal) e áreas com desenhos irregulares, típico dos recentes subúrbios, contendo um grande número de *cul-de-sacs*. Neste estudo foram consideradas as seguintes variáveis: índice de acessibilidade das zonas, número de quarteirões por quilómetro quadrado, número de *cul-de-sac* por quilómetro de via e acessibilidade das vias às zonas comerciais (Amancio 2005).

Numa outra pesquisa, *1000 Friends of Oregon* (1993), verificou-se que a qualidade do espaço ao nível de mobilidade pedonal está diretamente relacionada com o aumento no número de viagens realizadas pelo modo pedonal, e consequentemente pela diminuição no número de viagens motorizadas. Foram avaliadas características como a facilidade de cruzamento nas vias, a continuidade dos passeios para peões, topografia e

o formato da rede viária (ortogonal ou irregular, com destaque para a existência de *cul-de-sacs*) (Amancio 2005).

Ainda no que diz respeito ao desenho urbano, é necessário destacar dois aspectos essenciais, que estão relacionados entre si, e que são fundamentais na análise e comparação entre diferentes desenhos: a permeabilidade das vias e a conectividade entre elas.

A permeabilidade diz respeito à facilidade de deslocação nas vias do espaço urbano, sendo que a conectividade, reflete a capacidade de ligação entre as diferentes vias que compõe a rede (Allan, 2001; Handy et al., 2003 in Amancio 2005). Ambas estão relacionadas com a dimensão e densidade das vias, com a dimensão dos quarteirões, com o tipo e quantidade de intersecções (cruzamentos em “t” ou em “cruz”), entre outras. Por exemplo, um bairro com quarteirões de grande dimensão pode restringir o movimento pedonal, pois faz com que o percurso entre dois pontos distintos ocorra por caminhos mais longos, em comparação com um bairro com quarteirões de menor dimensão. Os padrões de comprimento dos quarteirões variam entre os 0,10 a 0,20 km, mas os padrões mais favoráveis à promoção da mobilidade pedonal são ainda menores. Às menores dimensões dos quarteirões está associado um maior número de intersecções, resultando num número maior de vias e distâncias relativamente mais curtas para caminhar (Amancio 2005).

Dill (2004) realizou um estudo sobre algumas metodologias de análise da conectividade das vias, que foram aplicadas na cidade de Portland – Oregon (EUA), com o intuito de fomentar os modos não motorizados: pedonal e bicicleta. Segundo a autora, as vias com maior conectividade representam uma maior variedade de percursos para os pedestres, tornando-se mais atrativas para estes (Amancio 2005).

Krizek (2003) considera ser preferível estudar a influência do desenho urbano na mobilidade pedonal, através da dimensão dos quarteirões, em vez da sua forma geométrica. O autor considera que, por exemplo, um desenho urbano com intersecções espaçadas em cerca de 300 m é menos favorável à mobilidade pedonal do que um desenho urbano com um espaçamento de 120 m. Desta forma, a dimensão dos quarteirões e a sua densidade, são os fatores mais relevantes na medição do índice de acessibilidade pedonal dos bairros, considerando que as características fundamentais no desenho geométrico, que são mais favoráveis à mobilidade pedonal, são a distância entre as atividades, a continuidade da caminhada e as opções de trajeto (al. 2014).

Chisholm (2002) verificou que os quarteirões têm, em média, cerca de 365 m de comprimento, com uma variação de 240 m a 490 m. Por outro lado, a SFDT<sup>6</sup> (2010), considera que o comprimento médio dos quarteirões é de 150 m, com variação de 200 m a 410 m. Parker (2007) sugere um comprimento máximo de 90 m para uma área com boa conectividade, o que vai de encontro ao defendido pelos novos urbanistas que recomendam a delimitação de quarteirões com uma área de cerca de 6300m<sup>2</sup> (70 m. x 90 m). Cervero et al. (2009) verificaram que os quarteirões de pequena dimensão, por exemplo de 40 m x 40 m, produzem redes altamente densas e com uma grande capacidade de conectividade (al. 2014).

O *Front Seat* (2013) procurou esmiuçar um pouco mais a temática da dimensão dos quarteirões e quantificar a influência do tamanho médio no seu “índice de caminhabilidade”, conforme mostra a tabela 2. Neste índice são estabelecidas diferentes escalas de penalização, conforme a dimensão dos quarteirões, onde se determina que a dimensão não é prejudicial quando se encontra num valor inferior a 120m de comprimento. No entanto, para os quarteirões com dimensão superior a 120 metros de comprimento, são definidas diferentes escalas de penalização, com um valor máximo de penalização (valor 5) acima dos 195 metros de comprimento (al. 2014).

<b>Dimensão dos quarteirões</b>	<b>Penalização (%)</b>
Menos de 120 metros	0
120 – 150 metros	1
150 – 165 metros	2
165 – 180 metros	3
180 – 195 metros	4
Mais de 195 metros	5

**Tabela 2** - Dimensão média dos quarteirões (metros) e escala de penalização (fonte: Rodrigues et al., 2014).

Rodrigues et al., (2014), tendo em conta as informações da tabela anterior, e levando em consideração trabalhos anteriores presentes na literatura, propôs uma escala preliminar, com três escalas de potencialidade, no que diz respeito às características dos quarteirões de uma determinada área, que caracterizam a mobilidade pedonal:

<sup>6</sup> State of Florida Department of Transportation

- Alto potencial: inferior a 120 metros de comprimento;
- Médio potencial: de 120 a 180 metros de comprimento;
- Baixo potencial: superior a 180 metro de comprimentos.

De uma forma geral, os padrões de uma rede viária mais compacta e interligada, com um uso de solo intensivo, refletem-se na escolha modal e na frequência de viagens (Cervero 1997), fomentando os deslocamentos a pé (al. 2014). Handy et al. (2004) mostraram como o incremento da conectividade nas ruas reduz o número de viagens no automóvel e o volume de tráfego nas vias principais. Geram-se assim, espaços mais “caminháveis”, que favorecem o acesso pedonal à estação ou paragem de transporte público, gerando um aumento na sua procura (Cardozo et al. 2010).

#### **2.4.2 Fatores socioeconómicos**

A utilização do transporte público e o acesso pedonal ao mesmo é igualmente afetada por fatores intrínsecos às características sociais e económicas da população. De facto, a relação entre a utilização do transporte público e as variáveis socioeconómicas, tais como o rendimento, sexo, idade, agregado familiar, situação de emprego, grau de escolaridade, raça/etnia, e posse de veículo privado, é bem conhecida (Curtis & Perkins, 2006; Lee & McDonald, 2003; Sanromá & Ramos, 1998; Giuliano, 2003 in Cardozo et al. 2010, Cristaldi, 2005, Giuliano, 2003, Cervero & Duncan, 2002 in Gutiérrez 2011).

A mobilidade da população está estritamente ligada com a sua caracterização sociodemográfica, económica ou cultural. Determinados grupos de população com uma dependência maior em relação ao transporte público, estão predispostos a percorrer maiores distâncias nos seus acessos às redes de transporte público, em comparação com aqueles cuja dependência é menor (Cardozo et al. 2010).

Por exemplo, num estudo de Newbold et al. (2005) sobre o comportamento de mobilidade dos canadianos, verificou-se que os adultos com mais de 65 anos realizam mais deslocações diárias em comparação com os jovens. Além disso, descobriu-se também que, nos adultos com mais de 65 anos, existe uma maior dependência em relação ao transporte privado, verificando-se uma redução significativa na utilização do transporte público, como o principal modo de transporte, em comparação com a população mais jovem (Curtis & Perkins, 2006 in Cardozo et al. 2010).

Em Montreal (Canadá), El-Geneidy et al., (2009) analisaram as diferenças nas distâncias que os utilizadores do transporte público estavam dispostos a caminhar para



aceder a paragens de autocarro e estações ferroviárias, analisando as suas características sociodemográficas. Através da utilização de um modelo de regressão linear, verificou-se que os homens percorriam distâncias superiores comparativamente com as mulheres, e na comparação etária, as distâncias caminhadas pelos jovens eram superiores às dos idosos. Outro fator determinante observável neste estudo foi a natureza/motivo do percurso, verificando-se que as pessoas estavam dispostas a caminhar distâncias superiores se o percurso era respeitante a uma ida para o trabalho ou uma a viagem de grande distância (García-Palomares 2013).

Baldwin (2009) estudou o papel da distância pedonal a paragens de autocarro ou estações ferroviárias, em relação à frequência da utilização do transporte, por parte de pessoas com mais de 60 anos, utilizando modelos de regressão múltipla. O autor descobriu que a distância pedonal a paragens de autocarro e estações tem uma influência estatisticamente significativa na frequência da utilização em San José, Califórnia, mas não em Buffalo, Nova Iorque, ambas nos EUA. O autor também verificou que os condutores são mais sensíveis à distância pedonal que os não condutores. Em San José, verificou-se que, a cada 5 minutos adicionais de tempo de caminhada até ao transporte público, diminuía a frequência de utilização do mesmo em 5% nos não condutores, e em 25% nos condutores. Concluiu-se também, que os adultos são mais suscetíveis a utilizar mais frequentemente o transporte público se forem do sexo masculino, de etnia não branca e com baixos rendimentos (García-Palomares 2013).

Num estudo sobre os utilizadores do metro de Madrid verificaram que, em média, os homens (428m) caminhavam maiores distâncias para aceder às estações da rede de metro, em comparação com as mulheres (413m). Os mesmos autores verificaram também diferenças nas distâncias caminhadas, relativamente às faixas etárias, verificando que os jovens entre os 13 e os 23 anos, em média, são o grupo etário que percorria distâncias superiores (431m), seguido dos adultos entre os 24 e os 65 anos (422m), dos idosos com mais de 65 anos (372m) e das crianças com idades entre os 4 e os 12 anos (369m). Neste mesmo estudo, analisou-se também a influência da posse de veículo próprio, verificando-se que a distância caminhada para aceder às estações, diminuía à medida que o número de veículos próprios, por habitação, aumentava (García-Palomares 2013).

Vários artigos mostram também a influência da composição do agregado familiar e do rendimento familiar nos padrões de mobilidade. Ryley (2005) estudou a composição

de 2.910 domicílios, em Edimburgo (Escócia), e verificou que as famílias com crianças têm características de comportamento de mobilidade distintas. Estas famílias são altamente dependentes do automóvel privado, como principal modo de transporte. O autor verificou também, que as principais fases no ciclo de vida das famílias, que têm impacto sobre os comportamentos de mobilidade incluem a obtenção de emprego, a natalidade e a reforma. Assim, os agregados familiares compostos por estudantes, desempregados e/ou trabalhadores a tempo parcial sem filhos, são os mais propensos a utilizar formas não motorizadas de transporte, sendo mais recetivos à utilização do transporte público. Por outro lado, famílias compostas por reformados ou com altos rendimentos são menos recetíveis a utilizar formas não motorizadas de transporte e são mais dependentes do automóvel privado (Curtis & Perkins, 2006 in Mavoa 2012). Desta forma, verifica-se que um aumento no rendimento real *per capita* e a posse de veículo próprio estão associados ao declínio da utilização do transporte público. (Gómez-Ibáñez, 1996; Wachs, 1989, Kitamura, 1989 in Gutiérrez 2011).

Outro aspeto importante a destacar, é o facto de as minorias étnicas/raciais e os emigrantes serem substancialmente mais propensos a utilizar o transporte público (Jin, 2005 in Gutiérrez 2011).

### **2.4.3 Características da estação e da sua envolvente**

Para além dos aspetos anteriormente analisados, existem outros fatores de escala local que também influenciam na acessibilidade ao transporte público, e que acabam por influir na maior ou menor utilização do mesmo. Estes fatores estão relacionados com as características intrínsecas das estações e/ou paragens de transporte público, nomeadamente o tipo de estação, o número de linhas, o número de acessos à estação (número de entradas), o tipo de serviço disponibilizado, entre outros (García-Palomares 2008, Moniruzzaman 2012). Além desses, também são de destacar as características físicas em torno dos pontos de acesso ao transporte, no que diz respeito à qualidade, à segurança e à comodidade para o acesso pedonal ou à existência de parques de estacionamento quer para modos motorizados quer para não motorizados, entre outros (Amancio 2005).

De facto, o maior ou menor número de utilizadores que acedem a uma estação está relacionado com o tipo da mesma, seja ela intermédia, terminal, de intercâmbio de linha ou intermodal. As estações terminais, são aquelas que se encontram espacialmente

mais próximas para uma larga porção da população, pois pelo facto de serem estações de fim de linha, não existe competitividade com outras estações, fazendo com as pessoas estejam dispostas a caminhar maiores distâncias para aceder a estas (O'Sullivan & Morral, 1996 in Gutiérrez 2011). As estações de intercâmbio de linha e as estações intermodais são as mais atrativas para os utilizadores, comparativamente com as estações intermediárias, e tendem a atrair um maior número de utilizadores. Neste aspeto, nas estações intermodais verifica-se um maior número de entradas, uma vez que estas recebem utilizadores de outros modos de transporte. O espaçamento entre estações, ou por outro lado a densidade de estações, influencia a dimensão das áreas de influência e, por consequência, o número de acessos, pois quanto maior for a área de influência (menor densidade e menor competitividade entre estações) maior a probabilidade de se verificar um maior número de acessos a essa estação (Kuby et al. 2004 in Gutiérrez 2011).

A distância desde a estação ao CBD ou a sua centralidade na rede são também fatores relevantes, uma vez que as pessoas tendem a usar mais frequentemente o transporte público nas áreas centrais das áreas urbanas do que nas periféricas (Pushkarev & Zupan, 1982; Kuby et al., 2004 in Gutiérrez 2011). No caso das estações ferroviárias ou de metro, a presença de meios de transporte “alimentadores” (como o autocarro ou o táxi) perto das estações, pode também influenciar o número de acessos às mesmas, uma vez que alguns utilizadores acedem à estação através do transporte público (Kuby et al., 2004 in Gutiérrez 2011). A frequência do serviço (o número de veículos disponíveis num determinado período de tempo) influencia igualmente a utilização, mas o uso desta variável como prognóstico, pode produzir problemas de endogeneidade entre a prestação do serviço e a procura, uma vez que, enquanto a utilização do transporte público é, em grande medida, em função da oferta de serviços de transporte, o fornecimento de serviços de transporte, é obviamente, uma função da procura pelo serviço (Taylor & Fink, 2003 in Gutiérrez 2011). Também a qualidade do serviço, no que diz respeito a aspetos como a comodidade, tempo de viagem, conforto, acesso à informação, fiabilidade e segurança são importantes na questão da utilização do serviço de transporte público (Levinson, 1992 in Wu 2005).

De facto, a acessibilidade ao nível da estação pode ser um importante fator de influência da utilização do transporte. Wells e Hutchinson (1996) referiram que melhorar a qualidade da acessibilidade ao nível da estação é fundamental para aumentar a procura do serviço ferroviário (Sung 2014). Em estudos anteriores foi analisada a

acessibilidade ao nível da estação, em relação ao acesso através do automóvel privado, avaliando os parqueamentos na proximidade (Arrington e Cervero, 2008; Loo et al., 2010; Mingardo, 2013 in Sung 2014). Sung e Oh (2011) analisaram a acessibilidade ao nível da estação em relação ao número de rotas de autocarros na proximidade das estações ferroviárias, em Seul (Coreia do Sul). Contudo, a procura do serviço ferroviário pode ser determinada não apenas pela acessibilidade dos modos de transporte, mas igualmente pelo número de entradas/saídas de cada estação e pelas distâncias entre estações (Sung 2014).

Conforme relatado por Foda e Osman (2010), o acesso pedonal a uma paragem de autocarro ou a uma estação de metro/ferroviária é realizada através da rede viária, que se encontra em torno desse mesmo ponto de acesso (Eboli 2014). Nesse sentido, uma das principais características da forma urbana, relacionada com a mobilidade pedonal, é a qualidade do ambiente para o pedestre (Amancio 2005). A existência de calçadas e a qualidade das mesmas (nos aspetos de segurança, conforto e estética) podem incentivar a opção dos indivíduos em realizar as suas viagens a pé, seja como modo de transporte ou como modo de acesso ao transporte público. Nesse sentido, diversos autores procuram identificar quais as características que tornam o ambiente mais agradável para os pedestres (Dixon, 1996; Ferreira & Sanches, 2001; Fruin, 1971; Khisty, 1995; Sarkar, 1995 in Amancio 2005).

Segundo a Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP (1999), a mobilidade pedonal corresponde à maior parte dos deslocamentos urbanos. Nos espaços urbanos de pequena dimensão, a mobilidade pedonal é, destacadamente, o principal modo de deslocação, enquanto nas grandes metrópoles, este número atinge cerca de 1/3 das viagens. A vulnerabilidade dos pedestres é um fator de grande importância, uma vez que, por exemplo, nas grandes cidades do Brasil, de acordo com a ANTP, cerca de 60 a 80% das mortes acidentais corresponderem a atropelamentos. Desta forma, garantir ao pedestre um ambiente seguro (com calçadas e passadeiras) é um dos principais aspetos que devem ser considerados para garantir a circulação segura e confortável das pessoas (Amancio 2005).

### **3. Análises de Cobertura**

As análises de cobertura são fundamentais no planeamento do serviço de transporte público e permitem uma avaliação efetiva da acessibilidade pedonal às

paragens ou estações, inseridas na rede de transporte público (Wu 2005). Assegurar a cobertura adequada do serviço é essencial no planeamento do mesmo pois o tempo necessário para alcançar uma paragem ou estação tem um importante impacto no tempo total da viagem, o que influencia a procura potencial (Murray 1998). Estas análises de cobertura podem ser entendidas como uma “medida de oportunidades acumuladas” (Garcia-Palomares, 2000; Jones, 1981; Koenig, 1980; Pirie, 1979; Reggiani, 1998 in Gutiérrez 2008). O objetivo destas análises passa por determinar o total de população ou de emprego cobertas pela rede de transporte público, numa determinada distância ou limite de tempo de acesso, em relação a um ou vários pontos de acesso ao transporte público. Como as paragens ou estações na rede de transportes são, normalmente, representadas por esses pontos, o cálculo dessas oportunidades acumuladas proporciona uma estimação do potencial de procura da rede (Gutiérrez 2008, García-Palomares 2013). Estas análises de cobertura normalmente caracterizam a facilidade com que determinado serviço de transporte público pode ser acedido, sobretudo sob o ponto de vista da cobertura espacial, e têm sido reconhecidas como uma importante ferramenta para a melhoria da qualidade do serviço de transporte (Mamun 2013).

Nesse sentido, a importância das análises de cobertura da rede pública de transportes reflete-se nas várias aplicações que as mesmas têm, no âmbito do planeamento dos transportes públicos:

**(1) Evolução das redes de transporte** - Identificação de áreas residenciais que não se encontram cobertas ou estão parcialmente cobertas pela rede de transporte público. Nessas áreas deve ser dada uma particular atenção, no sentido de se alargar a rede de serviço de transporte público, com o intuito de aumentar o número de pessoas e a área total coberta pela rede.

**(2) Localização de novas estações** - Comparação do potencial de procura de cada uma das alternativas para a localização de novas paragens de autocarro ou estações na rede de transportes. Numa perspectiva do serviço, permite uma melhor decisão sobre qual a localização mais adequada para uma melhor, maior e mais eficaz captação de nova procura. Numa perspectiva económica, permite uma avaliação mais eficaz e ponderada sobre qual a melhor localização em termos de custo/benefício, de modo a procurar a viabilidade financeira do serviço.

**(3) Avaliação dos planos de transporte público** - Avaliação (em termos de população ou de emprego servido) de um plano para alargar a rede de transporte público e análise da contribuição de cada nova paragem ou estação no total da cobertura da rede.

**(4) Modelos de estimação da utilização potencial** - A acessibilidade ao transporte público é um dado de entrada (*input*) em muitos modelos de estimação da procura do serviço, para efeitos de determinação da divisão modal do transporte público (Zhao et al, 2003 in García-Palomares 2008, Biba et al., 2010 in García-Palomares 2013).

Neste sentido, verifica-se que maximizar o total de área que tem um adequado acesso ao transporte é, muitas vezes, um objetivo explícito da política operacional das regiões urbanas (Murray, 2001; Nelson & O'Neil, 1983 in Wu 2005). Como já referido anteriormente, o acesso ao transporte público pode ser interpretado como uma oportunidade para potenciais utilizadores se deslocarem de um determinado ponto até ao serviço de transporte (Murray 1998, Wu 2005). Normalmente a distância limite de 400m (1/4 de milha) é estipulada como um aceitável ou adequado padrão de acesso para um indivíduo a caminhar sob condições normais (Demetsky and Lin, 1982; Peng et al, 1997 in Wu 2005). No entanto, e como já anteriormente analisado, este limite de acesso pode variar de acordo com variadíssimas condicionantes, quer sob o ponto de vista do ambiente físico construído e das suas componentes, quer a partir das características e do tipo de serviço disponibilizado, quer ainda pelas características socioeconómicas do potencial utilizador.

Na literatura, a acessibilidade ao transporte é considerada tendo em conta as suas três componentes principais: cobertura espacial, cobertura temporal e cobertura de percurso (Mamun e Lownes, 2011 in Eboli 2014).

A cobertura espacial refere-se à acessibilidade espacial ao transporte, ou de uma forma geral, se o serviço de transporte está disponível dentro de uma razoável proximidade física. A cobertura temporal diz respeito à capacidade do serviço de transporte público em disponibilizar o serviço em horários pretendidos pelo utilizador do serviço. A cobertura de percurso, por sua vez, é referente à capacidade do serviço de transporte público em disponibilizar aos seus utilizadores, serviços para e a partir das origens / destinos de viagem pretendidos. Desta forma, há uma necessidade de avaliar e quantificar o acesso ao transporte público e sua cobertura, considerando os três aspetos referidos (Eboli 2014).

Na literatura verifica-se a existência de uma série de estudos de análise da cobertura de acesso ao transporte, sobretudo ao nível de redes de transporte já estabelecidas, e várias metodologias têm sido propostas para ampliar a cobertura de acesso ao transporte público (Cha e Murray, 2001; Murray, 2001; Murray et al, 1998;

Murray, 2003 in Wu 2005). Geralmente estes estudos são realizados a partir de uma combinação das características do serviço e da proximidade física ao mesmo (Mamun 2013). Além disso, o acesso ao transporte deve ter em conta também a equidade social. Nesse sentido, as análises de cobertura são também importantes na temática da equidade e da exclusão social, pois permite analisar a cobertura sob a perspectiva de garantir uma igualdade de oportunidades de acesso às redes de transporte público (García-Palomares 2013).

A distância a caminhar para aceder ao transporte público varia entre os diferentes grupos de população. Conhecidas estas distâncias e aplicando-as nas análises de cobertura, torna-se possível obter um diagnóstico mais refinado e fidedigno da procura potencial e da cobertura da população. De uma perspectiva equitativa, o uso dos mesmos limites de distância para todos os grupos populacionais ignora o facto de, alguns grupos etários, moverem-se mais lentamente ou necessitarem de maior esforço para caminhar (menor alcance), sendo recomendável a aplicação de distâncias de cobertura inferiores (por exemplo, idosos e crianças). Nesse sentido, importa reconhecer a importância da análise do efeito de dissuasão da distância (na população total e por grupos etários) para obter uma melhor compreensão do comportamento da população no acesso ao transporte público (García-Palomares 2013).

Com o objetivo de maximizar a cobertura de potenciais utilizadores, e minimizar os custos associados, o modelo de cobertura máxima/caminho mínimo (MCSP) (Current et al., 1985 in Wu 2005) representa uma abordagem para maximizar o acesso a potenciais utilizadores do transporte público, embora esta não tenha sido proposta ou aplicada numa rota de transporte já existente. No entanto, diferentes versões do modelo MCSP de uma, duas ou múltiplas rotas têm sido usadas na criação de rotas para novas áreas de serviço (Boffey & Narula, 1998; Current & Schilling, 1989; 1994; Hachicha et al., 2000 in Wu 2005).

O *Transit Capacity Quality of Service Manual* (TCQSM) (Kittelson & Associates et al., 2003) fornece um método padronizado para avaliar a acessibilidade/disponibilidade do transporte. Este método utiliza uma distância limite de ¼ de milha (400m) em torno de cada paragem de autocarro, com o objetivo de determinar a cobertura espacial do serviço. Este alcance é modificado de acordo com as mais variadas características, incluindo a conectividade das ruas, percentagem de idosos na população e o número de passagens para peões encontradas (Jiang et al, 2012 in Mamun 2013).

O indicador *Transit Level-of-Service* (TLOS) desenvolvido por Ryus et al. (2000) assume que as pessoas dentro de 5 minutos ou ¼ de milha de distância pedonal de uma paragem ou estação têm acesso à mesma. Contudo, em vez de usar um limite de distância estático, como na maioria dos estudos sobre cobertura, o TLOS considera a existência e a importância das rotas pedonais com ligação às paragens de transporte. Este indicador também combina densidades de população e de emprego, e considera o nível de segurança das rotas pedestres até às paragens. Kuby et al. (2004) utilizou a distância pedonal limite de meia milha (800m) para definir as áreas de cobertura das estações de metro. Este estudo inovou na abordagem utilizada, pois ao invés do tradicional limite de distância pré-definido, utilizou uma metodologia baseada em dados rasterizados, com o intuito de discriminar os percursos mais curtos, na rede viária, para aceder às estações de metro. Polzin et al. (2002) também propôs uma abordagem distinta para determinar a área de cobertura, ao utilizar uma distância padrão de meia milha (800m) em torno da rota de transporte público, ou seja do percurso entre os vários pontos (estações) que compõe uma rota, ao invés de aplica-lo, de forma isolada, em torno da localização da paragem como na maioria dos estudos. O'Neill et al. (1992) desenvolveu o método rácio-rede para determinar a área de cobertura dos serviços de transporte, medindo a acessibilidade ao transporte público de uma determinada área, utilizando uma proporção da rede viária dentro de uma distância pedonal aos serviços de transporte (Mamun 2013).

Existem ainda, vários métodos para quantificar a cobertura do transporte público que incorporam medidas de cobertura temporal, juntamente com as anteriormente discutidas, medidas de cobertura espacial.

O *Time-of-Day-Based Transit Accessibility Analysis Tool* desenvolvido por Polzin et al. (2002) é um exemplo de uma medida de análise da cobertura do transporte público que incorpora ambas as escalas de cobertura: temporal e espacial, numa única metodologia. Esta ferramenta considera quer o lado da oferta quer o lado da procura da cobertura temporal, utilizando uma distribuição da procura diária numa base horária. O *Local Index of Transit Availability* (LITA), desenvolvido por Rood e Sprowls (1998), mede a intensidade do serviço de transporte ou a acessibilidade do transporte público, numa determinada área, através da integração de uma média semanal da frequência de serviço (cobertura temporal), distância/lugares por população residente e/ou empregada (oferta), e paragens por milha quadrada (cobertura espacial). Esta ferramenta incorpora ainda, as variáveis de conforto e de comodidade do serviço na sua metodologia de



análise. Schoon et al. (1999) desenvolveu outro conjunto de índices de acessibilidade ao transporte público, o *Travel Time Accessibility Index* (AI) e o *Travel Cost Accessibility Index* (AI) para diferentes meios de transporte, entre os pares origem-destino (O-D). O *Travel Time AI* de um meio de transporte, entre um par específico O-D, é o rácio do tempo de viagem desse meio, para a média do tempo de viagem de todos os meios de transporte. O *Travel Cost AI* é calculado utilizando a mesma abordagem, embora tenha como parâmetro o custo da viagem (Mamun 2013, Eboli 2014).

Mais recentemente, Mamun e Lownes (2011) desenvolveram um índice múltiplo para calcular a acessibilidade ao transporte público. Esta abordagem combina as várias componentes utilizadas em métodos existentes para refletir as várias perspectivas da acessibilidade do transporte (i.e. planeador do transporte, operador do transporte e utilizador). Este índice múltiplo também caracteriza simultaneamente três importantes aspetos da acessibilidade do transporte: cobertura espacial, cobertura temporal e conforto (Mamun 2013).

Mamun et al. (2013) destaca o facto de os estudos acima referidos, abordarem a cobertura espacial e a frequência do serviço, sendo esta última, um aspeto da cobertura temporal. É ainda realçado o facto de alguma literatura considerar a cobertura do percurso para medir a acessibilidade ao transporte, para uma determinada área, tendo como base os destinos da viagem, sendo estes considerados como atrações desagregadas ou oportunidades (Chen et al., 2011; Huang & Wei, 2002 in Mavoa 2012). Contudo, é destacado o facto de poucos estudos terem em conta a cobertura de percurso, ou seja, se um serviço de transporte público está disponível para percursos de origem/destino específicos. Nesse sentido, conclui-se que uma análise de desempenho do transporte público que integre a cobertura de percurso com cobertura espacial e temporal, fornece uma descrição mais poderosa da qualidade do serviço, uma vez que a cobertura do percurso é “a consideração primária dos utilizadores na utilização do transporte público e é um fator importante para descrever a eficiência e a comodidade de uma rede de transporte público” (Ceder et al., 2009 in Mamun 2013).

Assim, é de realçar que nas análises de cobertura do serviço, é ainda importante conhecer os lugares que podem ser alcançados através do transporte público. Portanto, é importante focar, não apenas no acesso físico ao serviço de transporte público, mas também incluir o tempo de viagem entre a origem e o destino. Isto é alcançável através de modelos de acessibilidade que incluam o tempo de viagem para fornecer uma medida de acessibilidade (Lei & Church, 2010 in Mavoa 2012).

O'Sullivan et al., (2000) utilizaram análises isocrónicas para avaliar a acessibilidade dos transportes públicos, gerando mapas de áreas acessíveis através do transporte público. Recentemente, Benenson et al. (2009) propuseram uma abordagem mais abrangente para a análise da acessibilidade, usando uma rede detalhada de transporte público, em Israel. Este trabalho incluiu estimações de tempos de viagem, rotas e paragens de autocarro, tempos de chegada e partida, bem como estimativas reais de velocidade de deslocação, refletindo a hora e local, tendo ainda em conta o congestionamento do tráfego. Cheng e Agrawal (2010) descreveram uma ferramenta de análise da acessibilidade para calcular áreas de serviço de transporte ao nível do tempo de viagem. Numa extensão da abordagem utilizada por O'Sullivan et al. (2000), Lei e Church (2010) propuseram uma medida da acessibilidade do transporte que incluía o tempo do serviço de autocarro, como um atributo num Sistema de Informação Geográfica (SIG). O facto de ter em consideração a hora do dia faz com que a metodologia de Lei e Church seja mais abrangente e vantajosa, em comparação com os modelos anteriores (Mavoa 2012).

### **3.1. Áreas de Cobertura e os SIG**

Dada a natureza espacial das análises de cobertura da rede de transporte público, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornaram-se uma ferramenta útil, que fornece recursos para a recolha, tratamento e manipulação de dados, e permite a realização de análises espaciais, análises de redes e a apresentação cartográfica dos resultados (Zhu & Liu, 2004 in Gutiérrez 2008). Seja pela capacidade de avaliação das políticas regionais de larga escala ou pela capacidade específica de articulação de várias metodologias e tipos de informação, os SIG têm provado serem valiosas plataformas de modelação e gestão do planeamento do transporte público (Nyerges, 1995 in Murray 1998). Desta forma, um considerável número de investimentos significativos têm sido concedidos para estabelecer métodos de planeamento e para a obtenção de dados, no sentido de auxiliar os processos de monitorização, avaliação e modelação do planeamento do serviço (Murray 1998).

Os SIG são cada vez mais utilizados nos trabalhos de pesquisa e planeamento sobre transportes devido à sua capacidade de trabalhar, analisar e exibir dados espaciais, sendo uma ferramenta que permite uma metodologia flexível para estimar a população servida pelo transporte público. Nos SIG, esta estimativa pode ser obtida através da

delimitação de áreas geográficas, no qual a procura (pessoas ou atividades) é considerada servida ou coberta, determinando os totais de população ou de atividades inseridos em cada área de cobertura. Na literatura, uma extensa pesquisa, baseada em SIG, focada nos sistemas de transporte público, pode ser encontrada em Horner & Murray (2004) e Miller & Shaw (2001) (Miller, 1999; Nyerges, 1995; Murray et al., 1998; O'Neill et al., 1992; Hsiao et al., 1997; Peng & Dueker, 1995 in Gutiérrez 2008).

A análise da acessibilidade ao transporte público, recorrendo às plataformas SIG, é normalmente efetuada através da delimitação de áreas serviço, dentro de uma certa distância limite de análise (as mais comuns são 400m para as paragens de autocarro e 800m para as estações ferroviárias/metro<sup>7</sup>), em torno dos acessos ao transporte público (paragem ou estação), calculando a proporção de população ou de trabalhadores que se encontram dentro dessa área de serviço, ou por outras palavras, que se encontram cobertas espacialmente pelo serviço de transporte público. As áreas de serviço, também conhecidos como *buffers*, áreas internas ou áreas de mercado, têm sido importantes para muitas aplicações geográficas, tanto antes como após o desenvolvimento dos SIG (Weigend, 1958, Shaw, 1991; Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc., 1996; Serra et al, 1999; Van Wee et al, 2001 in Gutiérrez 2008).

Na delimitação das áreas de serviço, os SIG fornecem inúmeras ferramentas que, através de métodos geométricos simples, permitem a definição espacial das áreas de serviço, com resultados e alcances distintos. O mais simples é um *buffer* euclidiano circular, onde o comprimento do raio corresponde à distância máxima pré-definida como aquela a que o utilizador estaria disposto a caminhar, para aceder ao transporte público, ou por outras palavras, corresponde ao deslocamento máximo pedonal. Por exemplo, no contexto do estudo do transporte ferroviário, o *buffer* euclidiano corresponderia a uma área circular, tendo a estação como ponto central, com um raio de 800m, que como já referido anteriormente, corresponde à distância padrão, nas análises de acessibilidade, que um utilizador está disposto a caminhar para aceder ao serviço de transporte (figura 4 – pág. 40). No entanto, este método, apesar de ser bastante utilizado, sobretudo devido à sua rapidez e facilidade de análise e de aplicação, constitui um método com vários defeitos e com várias questões a ter em conta que podem induzir em erro nos resultados finais (Upchurch 2004, Gutiérrez 2008).

---

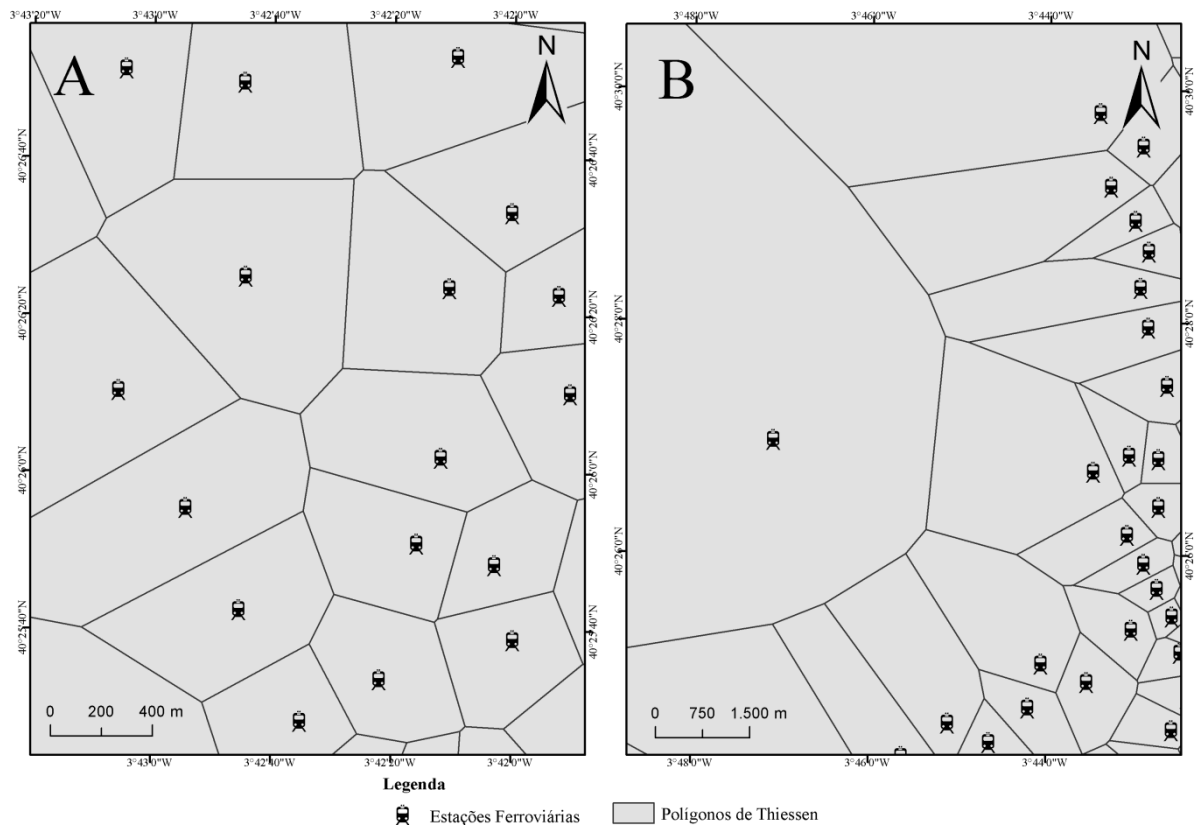
<sup>7</sup> Estes limites de distância pedonal padrão são representados na maioria das pesquisas sobre transporte (ver por exemplo, Currie, 2010; Hsiao et al., 1997; Peng et al., 1997; Kuby et al., 2004; Murray, 2001; O'Neill et al., 1992; Zhao et al., 2003 in Mamun et al., 2013).



**Figura 4** - Área de serviço do método *buffer* euclidiano.

Um método ligeiramente mais complexo de criar *buffers* geométricos, através dos SIG, é a delimitação de polígonos de *Thiessen* (Haggett et al., 1977 in Upchurch 2004). Esta metodologia permite a divisão de uma determinada área, em diferentes áreas de serviço correspondentes às várias estações/paragens de transporte público, definindo os limites equidistantes de cada estação, em relação às estações mais próximas. Por definição, este método permite que as áreas de serviço definidas sejam polígonos mutuamente exclusivos, ou seja, não se verifica a existência de sobreposição entre eles (figura 5.A – pág. 41). No entanto, para a análise das áreas de cobertura, este método, tal como o método dos *buffers* euclidianos, não tem nenhuma relação com a geometria da rede viária (*design* urbano), o que acarreta os mesmos problemas que a anterior metodologia. Além disso, não é predefinido nenhuma distância limite, e no caso de uma

estação ou paragem de transporte, localizada na periferia (por exemplo, uma estação de fim de linha), onde não existe nenhuma estação na proximidade, os polígonos estendem-se até ao “infinito”, o que obviamente constitui uma anomalia na análise final (figura 5.B – pág.41) (Upchurch 2004, Gutiérrez 2008).



**Figura 5** - Áreas de serviço do método polígonos de Thiessen (A); e área de serviço do método polígonos de Thiessen para uma estação periférica (B).

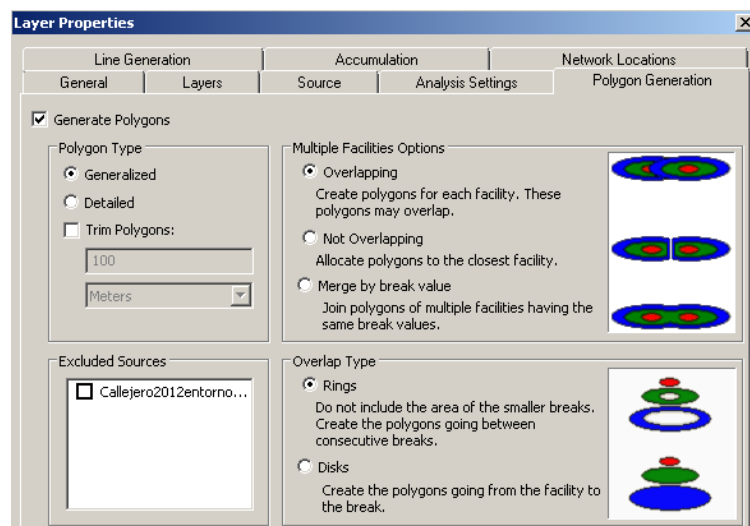
A combinação de ambas metodologias (*buffers* euclidianos e polígonos de *Thiessen*) permite combinar os aspetos positivos de ambas metodologias e anular os negativos, excepto a relação com o *design* urbano, onde como já referido, nenhuma das metodologias tem em conta esse aspeto. Assim, o resultado da junção desses dois métodos (figura 6 – pág.42) permite que a delimitação das áreas de serviço resulte em polígonos que são mutuamente exclusivos e com uma distância máxima (raio) pré-definida (Upchurch 2004, Gutiérrez 2008).



**Figura 6** - Áreas de serviço resultantes da combinação dos métodos distância euclidiana e polígonos de Thiessen (limite de distância de análise de 800 metros).

No entanto, existem ainda vários *softwares* SIG como o *ArcMap* da ESRI<sup>8</sup>, que através da sua extensão *Network Analyst* (ferramenta *New Service Area*), possibilita a delimitação de áreas de serviços, que têm por base a rede viária onde a paragem ou estação de transporte público se encontra. Nesta ferramenta são possibilitadas várias opções e critérios de delimitação das áreas de serviço (figura 7 – pág. 43), dependendo do objetivo da análise.

<sup>8</sup> Environmental Systems Research Institute – Uma empresa norte americana especializada na produção de soluções para a área das informações geográficas, sendo líder mundial em sistemas de informação geográfica (<http://pt.wikipedia.org/wiki/ESRI>).



**Figura 7** - Opções de delimitação dos polígonos correspondentes às áreas de serviço da extensão Network Analyst do software ArcMap.

As áreas de serviço das diferentes estações/paragens podem ser delimitadas para um ou vários limites de distância de análise (seja em metros ou em minutos), de acordo com diversos critérios, seja com sobreposição (*overlapping*), sem sobreposição (*not overlapping*), ou permite ainda que as áreas de serviço de cada estação ou paragem, para cada limite de distância de análise, sejam unidas num só polígono (*merge by break value*). No que diz respeito à sobreposição das áreas de serviço, é ainda possível representa-la de duas formas diferentes: *rings* ou *disks*. Além disso, permite definir o critério de “desenho” do polígono (*generalized* ou *detailed*), além de possibilitar a extensão da delimitação do polígono (*trim polygons*), de grande utilidade em áreas com quarteirões de grande dimensão. O facto de permitir a representação precisa da influência do *design* urbano, constitui uma poderosa ferramenta de análise da acessibilidade ao transporte. As diferentes opções de delimitação dos polígonos, possibilitadas pela extensão *Network Analyst* são resumidas na seguinte tabela:

	Opção	Descrição
<b>Polygon Type</b>	<b><i>Generalized</i></b>	Os polígonos são gerados rapidamente e os seus contornos não são totalmente precisos em relação à rede viária.
	<b><i>Detailed</i></b>	Os polígonos não são gerados tão rapidamente, mas os seus contornos são precisos e detalhados em relação à rede viária.
	<b><i>Trim Polygons</i></b>	Permite adaptar a delimitação dos polígonos às características das redes viárias. Nas extremidades da rede viária ou em redes

		cuja s vias se encontrem muito espaçadas entre si, permite alongar a delimitação dos polígonos. Por padrão, este valor é de 100 metros.
<b>Multiple Facilities Option</b>	<b>Overlapping</b>	Os polígonos são gerados individualmente para cada ponto ( <i>facilitie</i> ), mas os polígonos podem sobrepor-se entre si.
	<b>Not overlapping</b>	Os polígonos são gerados individualmente para cada ponto, mas os polígonos não se sobrepõem entre si. Os limites ou fronteiras entre polígonos adjacentes são definidos, de forma automática, com base nas características da rede viária.
	<b>Merge by break value</b>	Os polígonos dos vários pontos são unidos num só, para cada distância limite de análise.
<b>Overlap Type</b>	<b>Rings</b>	Os polígonos das distâncias limite de análise superiores não incluem a área dos polígonos das distâncias limite de análise inferiores.
	<b>Disks</b>	Os polígonos das distâncias limite de análise superiores incluem a área dos polígonos das distâncias limite de análise inferiores.

**Tabela 3** - Descrição das diferentes opções de delimitação dos polígonos das áreas de serviço da extensão *Network Analyst* do software *ArcMap*.

Neste tipo de metodologia, a delimitação dos polígonos das áreas de serviço, é realizada através da ligação dos diferentes pontos na rede, correspondentes aos limites de distância pré-definidos, a partir dos pontos de origem (paragens ou estações). Nesse sentido, a delimitação das áreas de serviço não é problemática numa rede densa (figura 8.A – pág. 45), mas no caso de uma rede com densidade diminuta, esta delimitação pode ter alguns problemas, pois a área de serviço resultante em torno de uma paragem ou estação, de uma via isolada é apenas um área longa e fina, com praticamente nenhuma área interior (figura 8.B – pág.45). Além disso, neste tipo de metodologia, existe uma grande dependência em relação à qualidade dos dados, nomeadamente da rede viária, onde a boa conexão entre as várias vias e os nós da rede é essencial, na qualidade final da análise.





**Figura 8** - Área de serviço do método distância de rede; A – rede viária densa; B – rede viária de densidade diminuta (limite de distância de análise de 800 metros; trim polygon: 25 metros).

O *TransCAD*, um SIG com capacidades de análise da rede de transporte para fins espaciais, tem provavelmente o procedimento mais sofisticado de todos os disponíveis para delimitar, com precisão, áreas de serviço (Caliper Corporation, 2002 in Upchurch 2004). A sua metodologia envolve dois passos principais. Em primeiro lugar, um procedimento chamado *network partitioning*, que calcula distâncias, tempos de viagem ou custos, a partir dos acessos ao transporte, ao longo das ligações da rede viária, para um limite de distância máximo especificado. No caso de haver ligações da rede, que se encontram dentro do alcance de mais de uma área de serviço, é definida uma fronteira entre as mesmas, no sentido de alocar a área de sobreposição, de duas formas distintas. Para o efeito, são utilizados como base para alocação, os nós das ligações ou os pontos médios das ligações, no sentido de alocar toda a ligação para qualquer acesso mais próximo. Em ambos os casos, o resultado são secções mutuamente exclusivas de uma rede viária, ou seja, sem sobreposição. O segundo passo, chamado *regional partitioning*, cria um polígono com base nas secções da rede viária abrangidas. Nesta extensão, é igualmente possível escolher diferentes opções de análise. Em contraste com o *ArcGis*, o *TransCAD* não delimita o polígono da área de

serviço através da conexão dos pontos exteriores. Em vez disso, é utilizado um processo similar a uma interpolação, com o intuito de delimitar o contorno de um conjunto de pontos de elevação (Upchurch 2004).

Apesar de ser uma ferramenta relativamente complexa e abrangente, é possível descortinar três desvantagens neste tipo de abordagem. Em primeiro lugar, independentemente dos nós ou pontos médios de ligação a serem utilizados, o tempo de viagem, custos ou distâncias são calculadas não exatamente para o alcance máximo. Em segundo lugar, o esquema de interpolação não é totalmente transparente, e não tem por base os percursos mais curtos ao longo da rede viária. Em terceiro lugar, o seu alto custo e a sua complexidade fazem com que o *TransCAD* não seja muito apetecível e procurado por muitas agências, empresas e universidades (Upchurch 2004).

Como as últimas abordagens vetoriais mencionadas possuem algumas limitações, as técnicas baseadas em modelos matriciais (*raster*) podem constituir uma solução interessante e com algum potencial para fornecer outro tipo de soluções. Devido à sua estrutura em matriz de células, as técnicas *raster* permitem que as áreas exteriores à rede viária sejam analisadas diretamente, uma vez que, quer as áreas da rede quer as exteriores, são representadas pelo mesmo plano de células quadradas, onde apenas o valor das células difere. Num ambiente *raster*, como o *ArcGrid*, o método padrão de gerar distâncias a partir da rede passa por atribuir uma impedância muito elevada para as células que não estão inseridas na mesma. Desta forma, é possível, através do uso de uma função de distância-custo, o equivalente *raster* de um cálculo do caminho mais curto num modelo vetorial, calcular a impedância total entre células do ponto de origem e as restantes células. Por sua vez, esta informação relativa à impedância, permite a criação de um *buffer* com base na rede de qualquer tamanho especificado (ESRI, 1994). No entanto, a alta impedância significa que a distância calculada para qualquer célula fora da rede será correspondentemente elevada, impedindo qualquer análise detalhada das áreas externas à rede (Upchurch 2004).

As metodologias mais usuais nas análises de cobertura, com recurso aos SIG, são aquelas que delimitam as áreas de serviço através das distâncias em linha reta ou distância euclidiana (*straight line*), e as distância através da rede viária, tendo como ponto de origem, os acessos ao transporte público (paragens ou estações), calculando posteriormente a população ou atividades cobertas pelo transporte público.

De qualquer forma, é consensual que o desenvolvimento dos SIG, possibilitou uma mais fácil, rápida e precisa realização de análises de cobertura das redes de

transporte público. Pesquisas sobre metodologias de cálculo foram realizadas, com diferentes resultados, dependendo do modo como os critérios para a delimitação das áreas de cobertura são definidas e dos efeitos das unidades espaciais que contêm informação sobre a população ((Biba et al, 2010; Gutiérrez e García-Palomares, 2008; Horner and Murray, 2004; Hsiao et al, 1997; Moreno and Prieto, 2003; Murray, 2001; Murray et al, 1998; Peng and Dueker, 1995; Wu and Murray, 2005; Zhao et al, 2003 in García-Palomares 2013).

### **3.1.1 Distâncias euclidianas vs. Distâncias de rede**

Um aspeto central e essencial no uso dos SIG, na estimação da população coberta pelo transporte público, é o método a utilizar para efeitos da estimação e delimitação da área coberta. As áreas de cobertura ou áreas de serviço podem ser delineadas com recurso aos SIG, através da criação de *buffers* (bandas) em torno dos pontos de acesso (paragens ou estações de transporte público) (Gutiérrez 2008).

A prática mais comum nas análises de cobertura, com recurso aos SIG, passa por calcular as distâncias de cobertura em linha reta ou distância euclidiana (*straight line*), onde como já referido anteriormente, os acessos ao transporte público (paragens ou estações) são utilizados como ponto de origem, calculando-se posteriormente a população residente inserida num predefinido limite de distância (Gutiérrez et al., 2000; Murray, 2001; Murray et al., 1998 in Gutiérrez 2008).

O procedimento de delimitação das áreas de serviço, através das distâncias euclidianas tem como principais vantagens, o facto de ser um método relativamente simples, prático e de rápida execução, uma vez que se limita à delimitação de um *buffer* circular, em torno da paragem ou estação, sendo o raio desse buffer, a distância máxima pré-definida como aquela a que o peão está disposto a percorrer, para aceder ao transporte público. No entanto, constitui um método com um elevado grau de imprecisão, uma vez que, na realidade, no acesso a uma estação ou paragem de transporte público, o pedestre segue o traçado da rede viária e não uma simples linha reta. Ou seja, este método parte do pressuposto de que a distância percorrida por um utilizador de transporte, para aceder a uma paragem ou estação, é a mesma que a distância euclidiana (também conhecida como linha reta ou distância aérea). Contudo, a real distância percorrida é normalmente superior à distância em linha reta, uma vez que é o *design* ou o formato da rede viária que acaba por determinar o percurso de acesso ao

transporte público. Outra questão a ter em conta neste método, é o facto de não ser possível analisar a influência das barreiras naturais ou feitas pelo homem, como lagos, rios, autoestradas, linhas ferroviárias de superfície, muros comunitários, etc., que “obrigam” o pedestre a percorrer uma distância superior para os contornar, limitando o acesso pedonal, de forma direta, às paragens ou estações de transporte público (al. 2003, Gutiérrez 2008).

Um segundo método de delimitação de áreas de serviço, nos SIG, é a distância de rede, que se baseia no cálculo de distâncias ou tempos de viagem e na delimitação de áreas de serviço, tendo como base a rede viária que se encontra na envolvente da estação ou da paragem do transporte público. Usando as capacidades de análises de rede dos SIG, é possível calcular as distâncias ao longo da rede viária, simulando as rotas reais usadas, pela população, no seu percurso em direção às paragens ou estações de transporte público (Horner & Murray, 2004; Hsiao et al, 1997; O'Neil et al, 1992 in Gutiérrez 2008). Seguindo este método, o resultado das áreas de cobertura não é um círculo, mas sim um polígono irregular que incorpora todos os trechos de rua localizados dentro do limite da distância da rede (ver figura 8 – pág. 45) (Gutiérrez 2008). Esta área poligonal é delimitada através da junção das extremidades das ligações da rede viária, sendo considerada mais representativa do que um *buffer* circular, na medição da cobertura de acesso de uma paragem de autocarro (Eboli 2014). Além disso, nas análises de rede, é possível analisar a influência das barreiras, quer naturais ou não naturais, permitindo uma análise mais fidedigna da acessibilidade espacial ao transporte público.

A escolha do método de cálculo da distância a utilizar, é essencial e afeta significativamente o resultado final da análise. As áreas de *buffer* euclidiano incluem ruas que são inacessíveis aos pontos de acesso devido às características da rede viária. Por exemplo, dado um determinado limite de distância de 300 metros, as áreas de serviço usando as distâncias euclidianas são de maior dimensão comparativamente com as de distância de rede, sendo que o primeiro método tende a sobrestimar a dimensão e, por consequência, o potencial de cobertura das áreas de serviço (al. 2003, Gutiérrez 2008).

Num artigo anterior, O'Neill et al. (1992) utilizou as capacidades de análise de rede dos SIG, com o intuito de delimitar áreas de serviço de pontos de acesso a transportes públicos e estimar o total de população inseridas nessas áreas, ou seja, estimar a potencial utilização do serviço. Eles concluíram que a utilização das distâncias

de rede é preferível relativamente às distâncias euclidianas, por ter em conta as ruas com acesso a um sistema de transportes, fornecendo assim uma análise mais real do acesso potencial (Gutiérrez 2008).

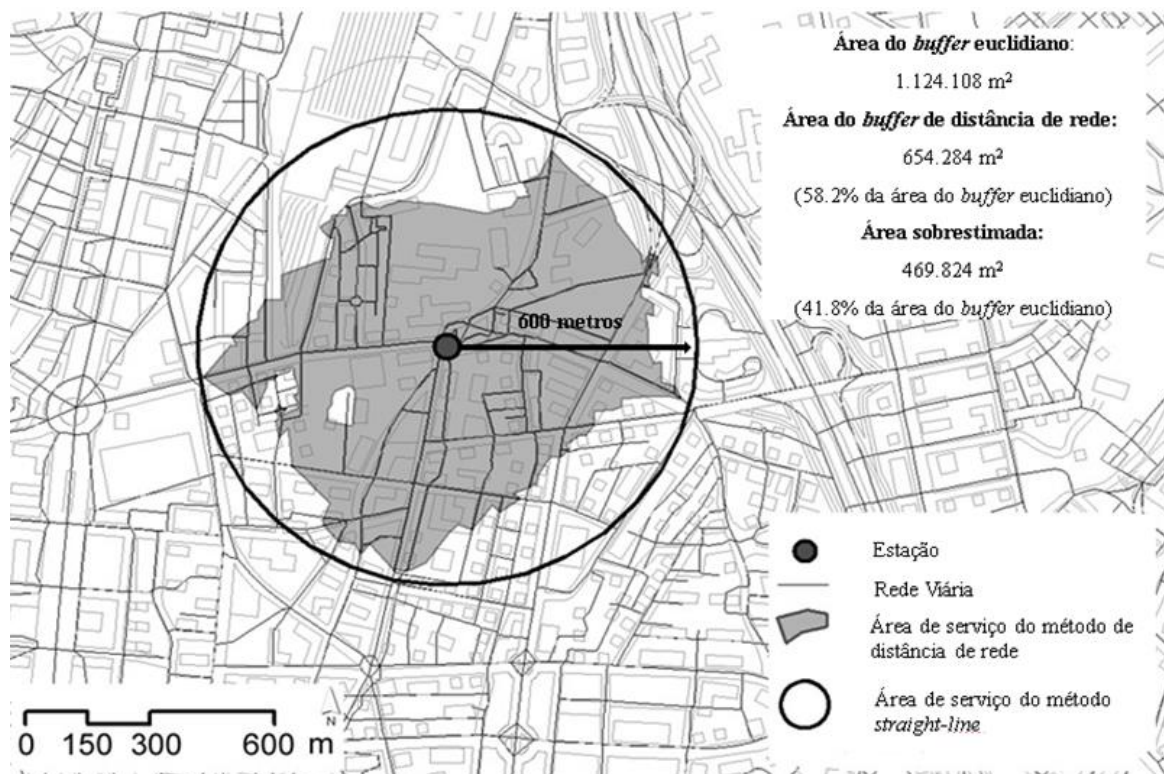
Hsiao et al. (1997) comparou os dois métodos, no sentido de investigar a forma como os diferentes padrões da rede viária (*design* urbano) afetam o acesso pedonal no acesso a paragens de autocarro. Concluiu-se que nas áreas compostas por redes viárias em malha regular e com grande densidade de uso do solo, o acesso pedonal ao transporte era mais favorável do que nas áreas recentemente desenvolvidas, com padrões de ruas irregular e baixa densidade de usos do solo (Gutiérrez 2008).

Moreno e Prieto (2003) exploraram os efeitos dos dois métodos (distâncias euclidianas e de rede) e das duas diferentes formas de representar a população (pontos e polígonos) na estimação da procura potencial do transporte público, através da delimitação de áreas de serviço de paragens de autocarro. Eles analisaram um único meio de transporte (autocarro), inserido num espaço específico (uma cidade suburbana), utilizando um único limite de distância (300m). Concluiu-se que os melhores resultados foram obtidos através da utilização das distâncias de rede, como método de delimitação das áreas de serviço, e dos pontos, como método de representação da população residente (Gutiérrez 2008).

Num artigo de Homer e Murray (2004), procedeu-se à análise da influência da representação dos acessos ao serviço de transporte (pontos *versus* linhas), da procura (escala dos dados), do método de estimação aproximada (centróide *versus* área de interpolação *versus* seleção de área) e distância métrica (*straight-line versus* distância de rede) na cobertura da população. A principal conclusão que se obteve foi o facto de, independentemente da característica do trajeto ou da representação da população usada, a análise baseada nas distâncias de rede foi a que, consistentemente, obteve uma estimativa mais fina da cobertura da área de serviço, em comparação com as distâncias euclidianas (Gutiérrez 2008).

A questão da sobrestimação na análise de cobertura usando as distâncias em linha reta tem sido amplamente estudada. Gutiérrez e García-Palomares (2008), analisando o efeito de sobreposição entre os dois métodos, verificaram que, para a mesma área, as áreas de serviço obtidas com o método de distância euclidiana e com o método de distância de rede, apenas coincidem parcialmente (figura 9 – pág. 50). Verifica-se que, de facto, uma porção considerável da área de serviço do método de distância euclidiana, não está coberta pela área de serviço do método de distância de

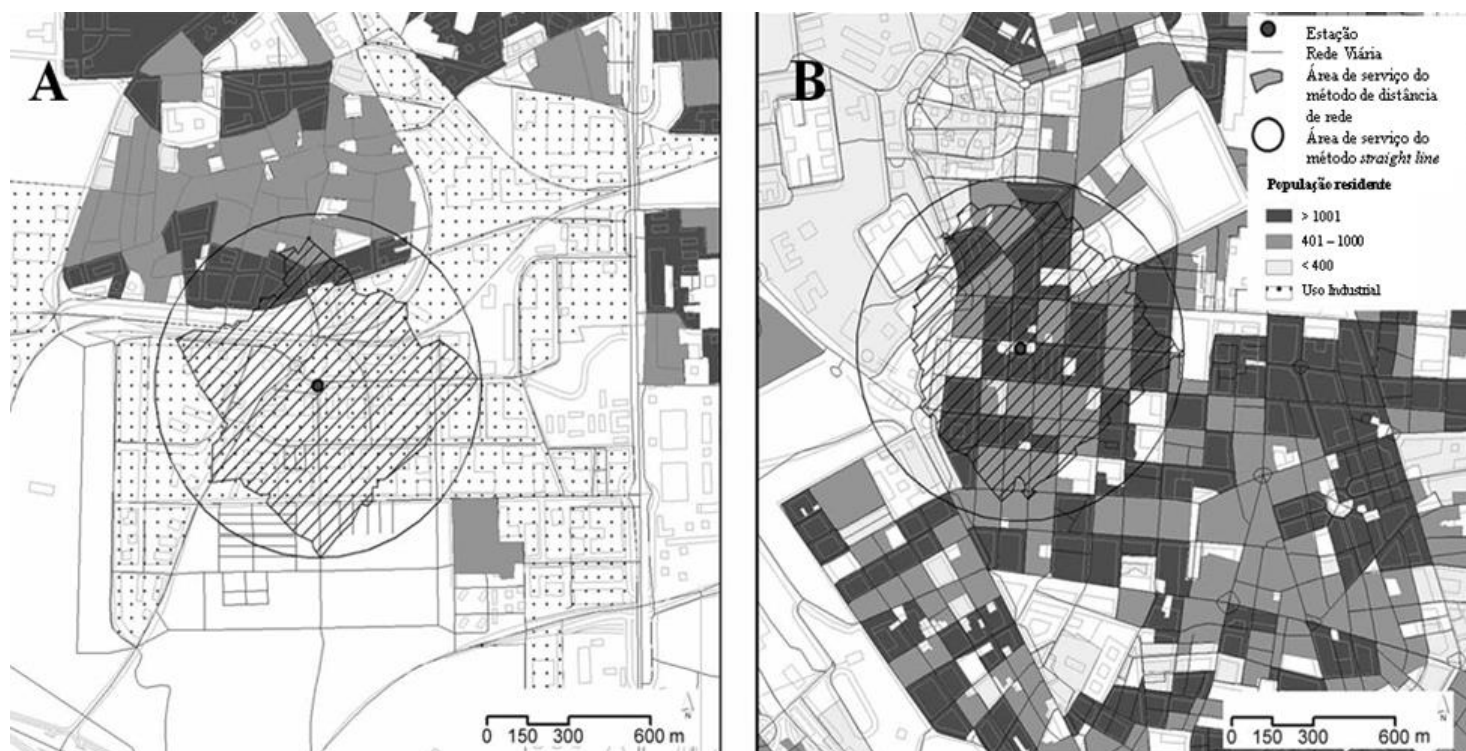
rede. Nesse sentido, para efeitos de análise da acessibilidade e da cobertura do transporte público, deve ser dada uma especial atenção a esta área. O facto de se verificar estas diferenças entre os dois métodos, pode contribuir para uma sobrestimação do acesso, e como consequência, influenciar de forma significativa as conclusões das análises a efetuar.



**Figura 9** - Diferenças nas áreas de serviço dos métodos de distância de rede e *straight-line* (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

A magnitude da sobrestimação causada pelo método de distância euclidiana é proporcionalmente dependente do total de população distribuída nas diferentes áreas de serviço. Esta distribuição determina o total de população abrangida pela área sobrestimada, e pela dimensão de ambas as áreas de serviço, determinando a dimensão da cobertura sobrestimada. Assim, a magnitude da sobrestimação da procura potencial depende fundamentalmente dos padrões de localização da população ou do emprego na área em estudo. Uma vez que a área sobrestimada tem uma localização periférica na área de *buffer* euclidiano (está mais distante dos acessos de transporte), os erros de sobrestimação tendem a aumentar quando a densidade populacional ou de emprego, nas

áreas de serviço, aumenta com a distância à estação (figura 10 – pág-51) (Gutiérrez 2008).



**Figura 10** - Influência da distribuição da população na sobrestimação<sup>9</sup> (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

É importante ter em conta que a dimensão da área de serviço delimitada através do método de distância de rede é afetada por inúmeros fatores, como a forma urbana e as barreiras. Por exemplo, numa rede viária irregular, com a presença de uma determinada barreira (como por exemplo, uma linha ferroviária ou um rio), pode produzir uma desproporcionalmente menor área de serviço, em comparação com um *buffer* euclidiano, que como já referido, por se basear num polígono circular fixo e não ter em conta a forma urbana, é “imune” aos efeitos das barreiras ao acesso. Desta forma, verifica-se que, para a mesma distância de análise pré-definida, quanto menor for a área

<sup>9</sup> A sobrestimação tende a ser superior quando a densidade populacional na área sobestimada é alta (área industrial) (A), e menor quando a densidade populacional na área sobestimada é baixa (área residencial) (B) (Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

de serviço resultante do método de distância de rede, maior será o total de área sobrestimada pelo método de distância euclidiana (Gutiérrez 2008).

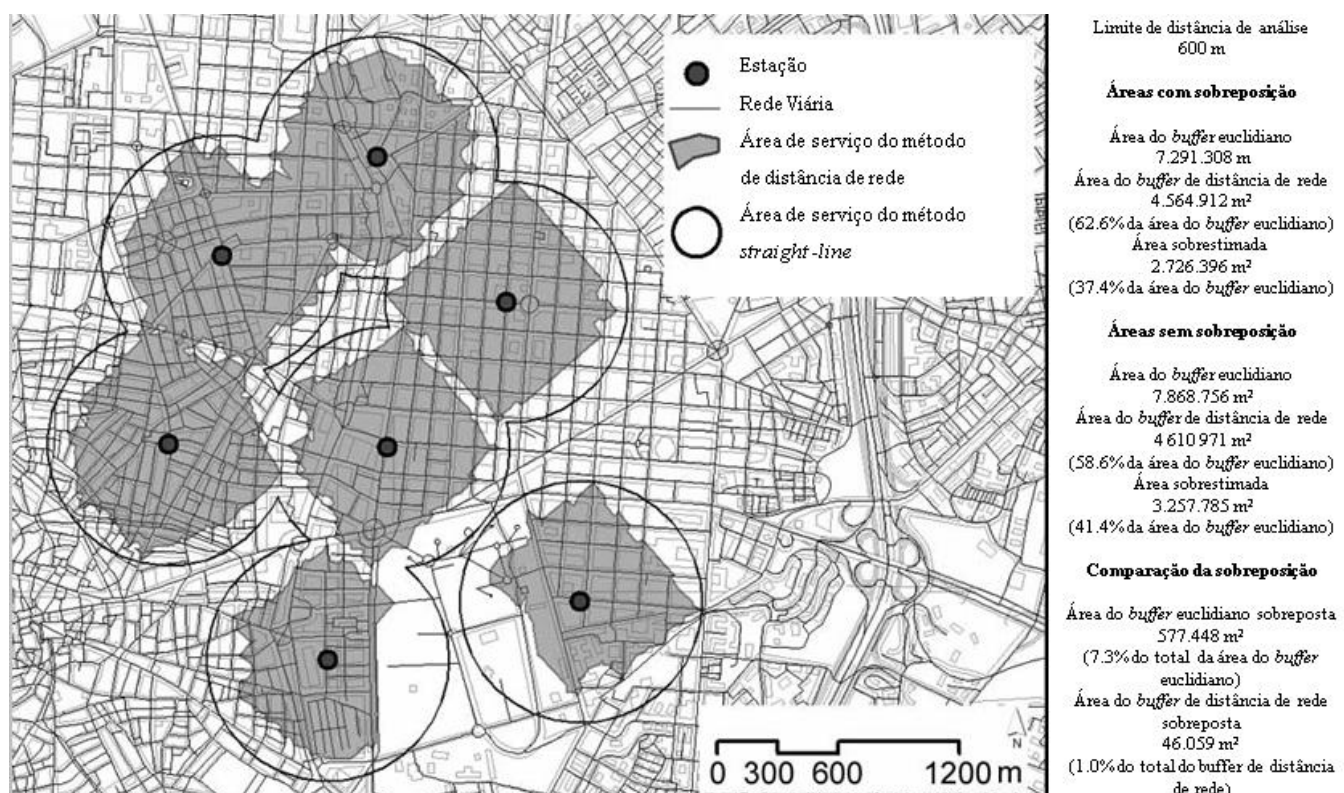
No entanto, a magnitude da sobreposição entre os dois métodos só é linear caso não se verifique a sobreposição de áreas de serviço, de paragens ou estações, do método euclidiano. Quando esta se verifica, existe uma relação no total de área sujeita a sobreposição, pois quanto maior for a percentagem da área de *buffer* sobreposta, menor será o total da área de *buffer*. Desta forma, verifica-se que existe uma influência na dimensão da área sobrestimada, pois quanto menor for o total da área de *buffer* (resultante da sobreposição entre áreas de serviço), menor será o total de área sobrestimada. A magnitude da sobreposição entre áreas de serviço, está diretamente relacionada com a densidade de paragens ou estações e a proximidade entre elas, e a distância limite utilizada para efeitos de delimitação das mesmas. Esta sobreposição ocorre primeiro na delimitação, através das distâncias em linha reta, e posteriormente nas áreas de serviço do método das distâncias da rede viária, uma vez que, para os mesmos limites de distância, as primeiras têm uma dimensão superior. Quando esta sobreposição é verificável apenas no primeiro método, a sobrestimação da procura potencial tende a ser reduzida; quando afeta ambos os métodos, não há praticamente nenhum erro ou estes são anulados, pois implica que, praticamente, toda a população se encontra coberta pelas áreas de serviço, pois não se verificam espaços intersectados sem cobertura espacial (Gutiérrez 2008).

### **3.1.1.1 Fatores que influenciam a dimensão das áreas de serviço do método de distância euclidiana**

Como indicado anteriormente, a magnitude da sobrestimação gerada pelo método de *buffer* euclidiano está dependente das diferentes dimensões das áreas de serviço dos dois distintos métodos. Dada uma determinada área de serviço do método de delimitação euclidiano, a dimensão total da mesma é constante quando as áreas de serviço das diferentes paragens não se sobrepõem, mas são variáveis (menores) quando se verifica tal sobreposição. Como resultado, a área total sobrestimada (área coberta pelo *buffer* euclidiano, mas não coberta pela área de serviço do método de distância de rede) é menor quando ocorre a sobreposição entre áreas de serviço (figura 11- pág.53). Desta forma, verifica-se que, quanto maior a magnitude da sobreposição das áreas de serviço do método euclidiano, menor a sobrestimação da estimação da população



coberta. Assim, a dimensão total das áreas de serviço está diretamente dependente da magnitude da sobreposição entre as áreas de cobertura, sendo esta última relacionada com dois principais fatores: a proximidade/densidade dos acessos ao transporte público e das distâncias máximas de acesso utilizadas (Gutiérrez 2008).



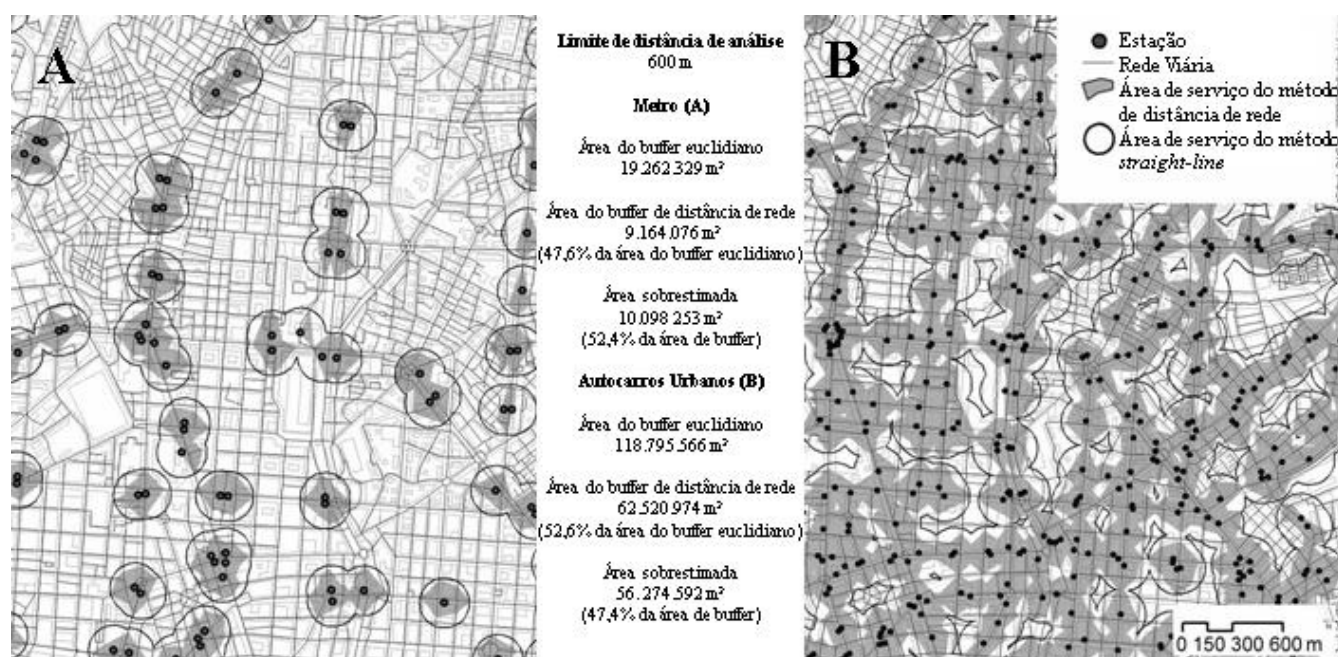
**Figura 11** - Diferenças na sobreposição nas áreas de serviço dos métodos de distância de rede e straight-line<sup>10</sup> (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

A distribuição dos acessos ao transporte no espaço urbano, afeta decisivamente a magnitude da sobrestimação, uma vez que esta influencia de forma decisiva a sobreposição das áreas de *buffer*. Por exemplo, pequenas distâncias entre paragens de transporte público podem conduzir a uma sobreposição de áreas de serviço das paragens de autocarro na mesma rota, assim como em paragens de rotas adjacentes que servem

<sup>10</sup> A sobreposição das áreas de cobertura das várias estações produz uma diminuição na dimensão da área total sobrestimada. A sobreposição é maior quando as áreas de serviço são delimitadas a partir do método *straight-line* (7,3%) em comparação com as delimitadas através do método de distância de rede (1,0%), fazendo com que a diferença (sobrestimação) entre os métodos diminuía (Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

destinos similares. Desta forma, verifica-se uma diminuição nas diferenças na dimensão das áreas de serviço dos diferentes métodos, e por consequência, na sobrestimação da procura potencial do serviço (Kimpel et al., 2006 in Gutiérrez 2008).

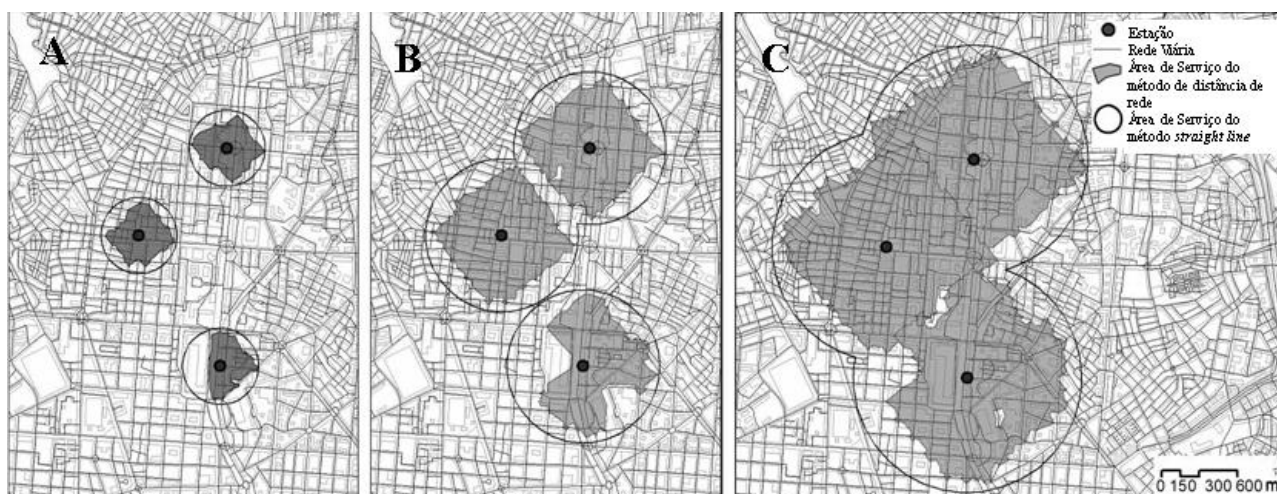
Desta forma, dada uma distância limite, a sobreposição entre áreas de serviço tende a ser maior numa rede de transporte público com alta densidade de acessos (por exemplo, a rede de autocarros urbanos), em comparação com uma rede com acessos mais espaçados (por exemplo, a rede de metro) (figura 12 – pág. 54). Como consequência, a dimensão individual das áreas de serviço, tende a ser superior na rede de metro, e a sobrestimação da procura potencial tende a ser menor na rede de autocarros urbanos. Isto deve-se ao facto de, a maior sobreposição entre áreas de serviço implicar a redução da dimensão individual das mesmas, traduzindo-se na redução da sobrestimação da procura potencial (Gutiérrez 2008).



**Figura 12** - Diferenças na sobrestimação e sobreposição de áreas de serviço de acordo com a densidade de pontos de acesso ao transporte público; A – estações de Metro; B – paragens de Autocarros Urbanos<sup>11</sup> (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

<sup>11</sup> A sobrestimação é maior nas redes de transporte com menor densidade de pontos de acesso, tais como o metro (A), em comparação com redes mais cuja densidade de pontos de acesso é maior, tais como os autocarros urbanos (B). A sobreposição nas redes com maior densidade de pontos de acesso provoca uma diminuição na dimensão na área sobrestimada (Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

Uma vez que, como já analisado, a população está disposta a percorrer maiores distâncias para aceder a redes com estações mais espaçadas do que a uma rede com maiores densidades de estações, diferentes distâncias limite podem ser utilizadas para analisar a cobertura do transporte público, de acordo com diferentes tipos de rede. Contudo, a escolha das distâncias limites a utilizar na análise de cobertura torna-se essencial no sentido de não subestimar nem sobrestimar, quer a dimensão das áreas de serviço, quer a procura potencial (figura 13 – pág. 55). A escolha da distância limite para delimitar a área de serviço é uma questão relevante em qualquer estudo de previsão da utilização do transporte público, e deve ser justificada para efeitos de captação da procura. Um limite de distância muito reduzido tem como consequência a criação de áreas de serviço de reduzida dimensão, que podem contribuir para subestimar a procura potencial, não abrangendo parte dos possíveis utilizadores do serviço. A utilização de largas distâncias limite, contribui para maiores níveis de sobreposição entre áreas de serviço, sobretudo em redes com acessos espacialmente próximos entre si, com as consequências já enumeradas anteriormente. Além disso, consideram-se áreas distantes à estação, que na realidade fornecem poucos utilizadores, o que pode distorcer (sobrestimar) os resultados finais (García-Palomares 2008, Gutiérrez 2008).



**Figura 13** - Diferenças na sobrestimação de acordo com a distância limite de análise aplicada<sup>12</sup> (Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

<sup>12</sup> O aumento do limiar de distância de análise leva a uma diminuição da dimensão da área sobrestimada devido à sobreposição. (A) 300m: área sobrestimada 405.272 m<sup>2</sup> (48,0% da área de *buffer* euclidiano).

Por exemplo, Ammons (2001) analisou os padrões de espaçamento das paragens de autocarro, para uma série de redes de transporte e descobriu que o espaçamento entre estas varia normalmente entre os 200m e os 600m nas áreas urbanas (Kimpel 2007). Tendo em conta estes valores, a utilização de uma distância limite de 400m (distância normalmente utilizada nos estudos de cobertura do serviço de autocarro), faz com que ocorra a sobreposição entre todas as áreas de serviço de cada paragem, uma vez que, com o limite de distância de 400m, essa sobreposição apenas não ocorreria a partir de um espaçamento de 800m entre estações.

### **3.1.1.2 Fatores que influenciam a dimensão das áreas de serviço do método de distância de rede**

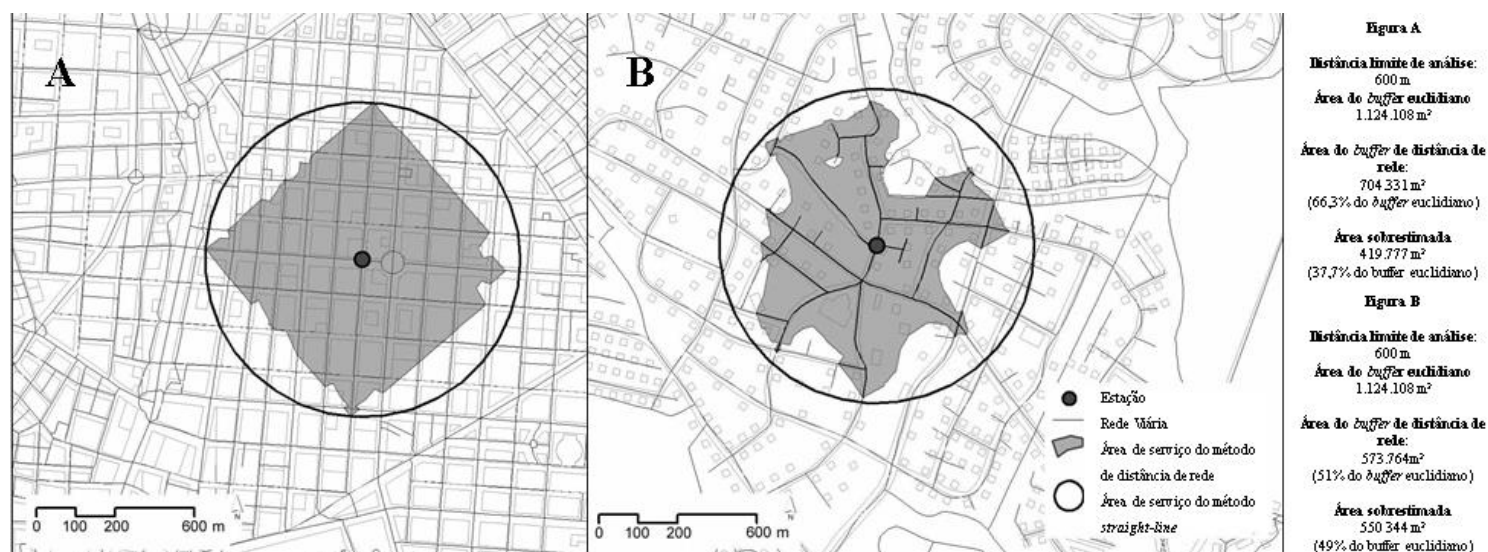
No que concerne à delimitação das áreas de serviço do método de distância de rede, a questão do limite de distância a utilizar, tem menos importância, comparativamente com o método da distância euclidiana. Dado um limite de distância (por exemplo 300m), a dimensão da área de *buffer* euclidiano é constante, independentemente do contexto local da estação/paragem onde se aplica a análise, em contraste com a dimensão da área de serviço do método de distância de rede, que é variável. Nesse sentido, para efeitos de determinação da área sobrestimada entre os dois métodos, partindo do pressuposto que a dimensão da área de *buffer* euclidiana é constante, a dimensão da área sobrestimada depende, apenas da dimensão da área de cobertura da distância de rede (Gutiérrez 2008).

Nesse sentido, constata-se que a magnitude da sobrestimação depende basicamente dos percursos de acesso às paragens/estações de transporte público, ou por outras palavras, da forma urbana e barreiras presentes na rede. De facto, como anteriormente referido, este método é fortemente dependente do contexto local da estrutura urbana ou *design* urbano, onde o serviço de transporte público se encontra. É esse *design* urbano que dita o formato e a dimensão da área de serviço, permitindo a distinção entre diferentes *designs* urbanos, no que concerne à qualidade da acessibilidade pedonal ao transporte público.

---

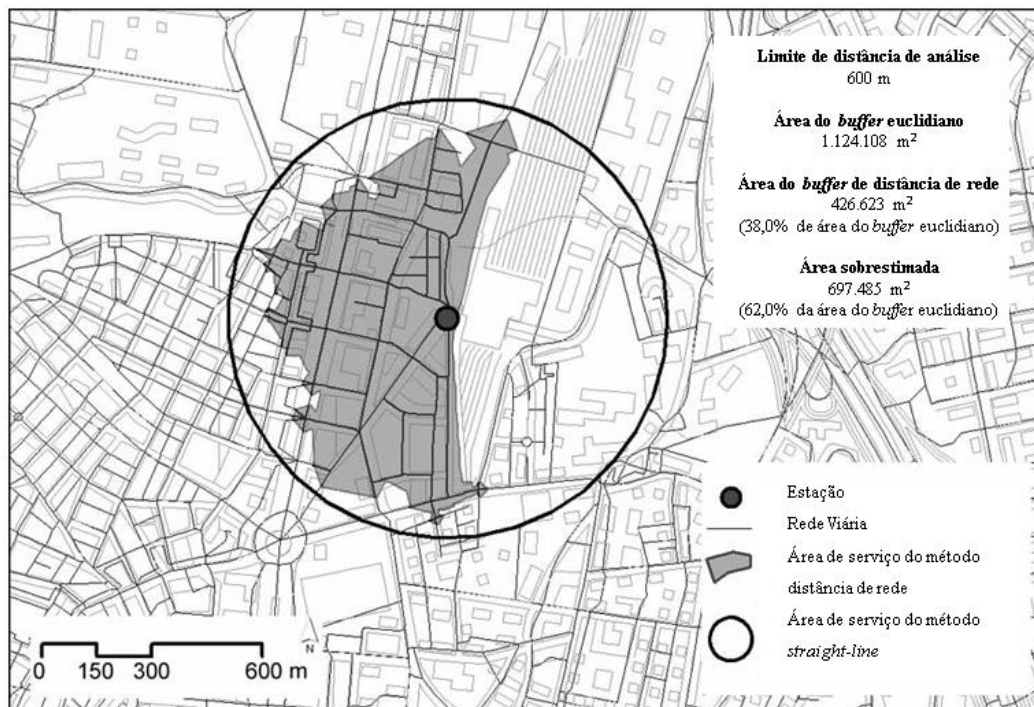
(B) 600m: área sobrestimada 1.402.971 m<sup>2</sup> (42,9% da área de *buffer* euclidiano). (C) 900m limiar: área sobrestimada 1.946.032 m<sup>2</sup> (31,5% da área de *buffer* euclidiano).

Nesse sentido, verifica-se que as tradicionais redes viárias em grelha (rede viária ortogonal) com grande densidade de vias, boa conectividade entre elas e com quarteirões de pequena dimensão, fazem com que as áreas de serviço dos dois métodos sejam bastante similares, não ao nível do formato, mas no que diz respeito à área total coberta (figura 14.A – pág.57). Por outro lado, nas novas áreas suburbanas, fundamentalmente orientadas para o uso do automóvel privado, cuja rede viária é caracterizada pela sua pouca densidade e pela parca conectividade entre as diferentes vias (presença de *culs-de-sac*), fazem com que o acesso pedonal seja mais desfavorável, obrigando o pedestre a percorrer maiores distâncias para aceder a uma paragem de autocarro ou estação (figura 14.B – pág.57). Como a delimitação da área de serviço, através do método da distância de rede, é totalmente dependente das características da rede viária, no caso das novas áreas suburbanas, a área de serviço resultante é na maioria dos casos, um polígono irregular com uma área interna praticamente inexistente, devido às características já enumeradas deste tipo de rede. Nesse sentido, verifica-se uma grande disparidade na dimensão das áreas de serviço dos dois métodos, contribuindo para a sobrestimação da procura potencial do método euclidiano relativamente ao método da distância de rede. Uma vez que áreas de cobertura, dos dois métodos de delimitação, são muito semelhantes nas tradicionais redes ortogonais, mas distintas nas áreas suburbanas (Hsiao et al., 1997), a sobrestimação tende a ser superior nas últimas em comparação com as primeiras (Gutiérrez 2008).



**Figura 14** - A influência do desenho urbano na delimitação das áreas de serviço e na sobrestimação: (A) rede ortogonal; (B) rede irregular de baixa densidade (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

Também a existência de barreiras naturais (rios, encostas íngremes, florestas densas, etc.) ou não naturais (autoestradas, linhas ferroviárias, muros comunitários, etc.) tem influência na dimensão da área de serviço resultante e, consequentemente, na sobrestimação entre os dois métodos de delimitação. Esta influência deve-se ao facto, de na presença destas barreiras, ocorrer uma limitação no acesso direto ao serviço de transporte. Por exemplo, uma área de serviço de uma paragem de autocarro, numa rede viária densa e bem conectada, mas que se localize na proximidade de uma linha ferroviária ou de um corpo de água (rio ou lago), resulta num polígono “interrompido”, uma vez que não é possível atravessar pedonalmente essa barreira (figura 15 – pág.58) (Gutiérrez 2008).



**Figura 15** - Influência das barreiras (ex. linha ferroviária) na delimitação das áreas de serviço e na sobrestimação (fonte: Gutiérrez & García-Palomares, 2008).

#### 4. Modelos de estimação da procura potencial

Um dos objetivos primordiais na planificação do transporte público consiste em estimar a procura potencial do serviço de transporte público. Nesse contexto, os SIG proporcionam uma ferramenta flexível que, tal como analisado anteriormente, permite a delimitação de áreas de cobertura, em torno dos acessos ao serviço de transporte, e possibilita a determinação do total de população residente ou emprego/atividades que se encontram espacialmente cobertos pelo serviço de transporte público (O'Neill et al., 1992; Hsiao et al., 1997; Murray et al., 1998; Murray, 2001; Zhao et al., 2003; Horner & Murray, 2004 in Gutiérrez 2008).

As análises sobre a população coberta oferecem informação útil ao planificador, uma vez que a população considerada coberta espacialmente pelo transporte público, serve de *proxy* na estimação da procura potencial pelo serviço. No entanto, apesar de constituírem uma aproximação o mais realista e detalhada possível, estes trabalhos não conseguem fornecer uma previsão totalmente fidedigna dos níveis de acesso das distintas paragens ou estações, constituintes da rede de transporte público (García-Palomares 2008).

Tradicionalmente, os modelos de estimação da procura potencial baseiam-se em complexos e dispendiosas metodologias, nomeadamente o tradicional modelo de quatro etapas. Estes modelos, de escala regional, têm em conta quatro diferentes aspetos (ou etapas) que estão relacionadas com o acesso e a utilização do transporte público, sendo estes a origem do percurso, a distribuição, a escolha do meio de transporte e a escolha da rota (ver por exemplo, McNally, 2000). Sob o ponto de vista teórico, a complexidade e abrangência destes modelos fazem com que estes sejam vistos como ferramentas de grande utilidade, nomeadamente na avaliação de novos acessos ao transporte e na expansão das redes atuais, embora na realidade, eles contenham diversos problemas que podem comprometer a qualidade da posterior análise (Marshall & Grady, 2006). Entre esses problemas destacam-se a eficácia do modelo, pois em grande parte dos modelos regionais, é dada uma maior atenção à contabilização do tráfego em segmentos individuais de rua do que em contabilizar os níveis de transporte nos segmentos individuais de rota ou estações/paragens; os dados de entrada (*inputs*) do modelo, pois a estimação é normalmente baseada em inquéritos antigos às famílias residentes, o que pode abranger apenas uma pequena porção dos possíveis utilizadores do transporte na área de interesse; a relação com o uso do solo, pois normalmente os modelos regionais

não têm em conta as características do uso do solo; as barreiras institucionais, pois as entidades que gerem e fornecem o serviço de transporte, normalmente não fazem parte do processo de modelação; e por fim, o seu custo, pois todo o processo de modelação é bastante complexo e dispendioso, quer ao nível do tempo de realização, quer ao nível do seu custo económico (García-Palomares 2008, Gutiérrez 2011).

Chu (2004) defendeu que o tradicional processo de quatro etapas é ineficiente na avaliação dos impactos das alterações na rede de transporte ou da extensão do serviço na promoção do uso do transporte público. As razões apontadas para essa ineficiência estão relacionadas com a precisão e o alcance. O processo de quatro etapas foi designado como “uma ferramenta de planeamento para alterações intensivas de larga escala”, sendo que a sua escala de análise é normalmente ao nível zonal. Os tradicionais modelos regionais de estimação de procura são sensíveis às alterações no uso do solo a meso e macro escalas, mas a sua resolução tende a ser demasiado grosseira no sentido de transparecer as características do *design* urbano, as características da diversidade do uso do solo e as iniciativas à escala de vizinhança tais como novos planeamentos urbanos e planeamentos orientados para o transporte. Desta forma, verifica-se que os erros e as imprecisões associadas a estes modelos podem ser superiores aos benefícios e impactos positivos nas alterações operacionais de baixo custo. Além da precisão e do alcance, o tradicional modelo de quatro etapas carece de flexibilidade, no sentido de incorporar as possíveis alterações na rede de transporte ou dos serviços oferecidos, por parte das companhias de transporte público (Cervero 2006, Gutiérrez 2011).

Nos últimos anos, com o objetivo de realizar estimações da procura do transporte público, e permitir igualmente uma alternativa aos dispendiosos modelos de quatro etapas, têm surgido modelos que combinam o uso conjunto dos SIG e das análises de regressão linear múltipla. Para além de ir além do simples cálculo da população coberta, através da delimitação de áreas de serviço, esta metodologia possibilita a construção de modelos de estimação direta, permitindo a análise da procura do transporte público ao nível da estação/paragem. Estes modelos surgiram face à necessidade de modelos mais simples e com capacidade de gerar estimativas de procura de forma rápida e económica (Cervero 2006, García-Palomares 2008).

Em termos gerais, trata-se de ajustar um modelo de regressão linear múltipla, onde a variável dependente é o número de entradas de passageiros/utilizadores nas estações, e onde as variáveis independentes funcionam como um reflexo das características das estações e das suas áreas de serviço, delimitadas a partir das



ferramentas SIG. Ou seja, o âmago destes modelos baseia-se no princípio de que, conhecendo-se previamente as características das estações (tipo de estação (terminal, intermédia, etc.), número de linhas, número de acessos/entradas, etc.) e das suas áreas de serviço (população residente, número de postos de trabalho e de trabalhadores, características do uso do solo e da rede viária, etc.), é possível obter estimações relativamente rápidas, pouco complexas e suficientemente precisas sobre a quantidade de passageiros que entram em cada estação ou paragem da rede de transporte público (Kuby et al., 2004; Chu, 2004; Cervero, 2006). Nesse aspeto, Taylor e Fink (2003) trabalharam com um conjunto de mais de 200 cidades nos EUA, e concluíram que os fatores externos, ou seja, os que são respeitantes à envolvente próxima do ponto de transporte, tendem a ter um peso maior que os internos (características das estações e tipo de serviço oferecido), na procura final pelo serviço de transporte público. Nesse sentido, verifica-se que na literatura existente sobre modelos de estimação da procura, em função da envolvente próxima aos pontos de acesso ao transporte público (Zhao et al., 2003; Taylor & Fink, 2003; Chu, 2004; Kuby et al., 2004; Cervero, 2006, entre outros), seja possível encontrar uma ampla variedade de preditores utilizados, que dizem respeito a fatores externos (Cardozo et al. 2010).

Nos modelos diretos de estimação são utilizados diversos tipos de variáveis como prognósticos ao nível da estação. Eles estimam a utilização como uma função dos domínios da estação e das características do serviço de transporte, sendo a regressão múltipla utilizada, devido à sua capacidade de, simultaneamente, avaliar os efeitos de um largo número de fatores. A regressão múltipla é “flexível, amplamente utilizada e facilmente entendida” (Kuby et al., 2004). Além disso, o modelo resultante pode ser usado para fins preditivos, dependendo este das estações de transporte, como unidade de análise, permitindo a obtenção de prognósticos individuais para cada estação, obtendo-se assim, uma estimativa global da utilização de um corredor ou rota de transporte a planear (Ewing 2001).

Nesse sentido, torna-se necessário focar particularmente as características da área de serviço da estação, significando isto, a adoção de uma perspectiva mais local, com o intuito de analisar com maior detalhe, a envolvente das paragens ou estações de transporte. Neste aspeto em particular, os SIG demonstram a sua capacidade de análise, pois permitem delimitar as áreas de serviço e analisar com detalhe o redor das estações, permitindo conjugar as características do uso do solo, da rede viária e da localização da procura (população e emprego) – fatores externos; com as características da estação ou

paragem de transporte público – fatores internos. (Cervero 2006, García-Palomares 2008).

Estes modelos perdem a perspectiva regional dos modelos de estimação de quatro etapas, mas aprofundam mais na análise local, uma vez que estes têm diretamente em consideração as diferentes características das áreas de serviço das estações ou paragens, funcionando como uma alternativa mais simples e menos complexa, podendo ser classificados como modelos de resposta imediata. Estes trabalhos têm o seu antecedente nas análises de cobertura de redes, mas dão um passo em frente em relação a estes, uma vez que as análises de cobertura limitam-se a calcular os totais de população ou de emprego, em diferentes limites de distância, seja através das distâncias euclidianas ou através das distâncias em rede. Ou seja, as análises de cobertura limitam-se à realização de um cálculo genérico da procura potencial, enquanto os modelos de estimação direta, baseados nas ferramentas SIG, permitem a estimação do número de passageiros que entram numa determinada estação ou paragem (Cervero 2006, García-Palomares 2008).

Os modelos de estimação direta, com base em análises de regressão, reúnem as características de todas as quatro etapas dos modelos tradicionais, não possuindo no entanto, a abrangência ou a sistematização destes últimos. Ainda assim, a transparência e o elevado poder explicativo fazem com que os modelos de estimação direta sejam vislumbrados como ferramentas de grande utilidade na análise da expansão da rede de transporte público, nomeadamente na implementação de novas linhas ou rotas, onde os valores de todas as variáveis independentes podem ser calculados de forma simples e rápida (Kuby et al., 2004 in García-Palomares 2008).

Walters e Cervero (2003) realçaram a capacidade dos modelos de estimação direta, destacando as inúmeras possibilidades destes modelos:

- (1) Abordam a configuração da rede de transportes, a localização das estações e tipos e características dos veículos;
- (2) Permitem uma avaliação de resposta rápida na análise do acesso ao serviço de transportes, espaçamento entre estações, frequência e velocidade do serviço;
- (3) Captam os efeitos das características do uso do solo local, como o aumento das densidades e o aumento da capacidade da mobilidade pedonal, dentro das áreas de serviço das estações e comunidades servidas pelo transporte público;
- (4) Consideram a competição entre serviços de transporte paralelos numa única rota, com as suas respetivas quotas de utilização global;

(5) Podem ser desenvolvidos, calibrados, validados e aplicados num curto espaço de tempo.

Os mesmos autores, não consideram que a modelação direta pode substituir os modelos regionais de quatro etapas, considerando por outro lado, que a combinação de ambos os modelos pode explicar de forma mais completa, quer os macro padrões de utilização do transporte, quer as sensibilidades das características das áreas de serviço, ao nível local (Gutiérrez 2011).

Os poucos modelos de estimação direta propostos até agora foram testados, apenas em cidades dos EUA e do Canada, sendo as variáveis dependentes e independentes incluídas nestes trabalhos, resumidas de forma sucinta no anexo 1. Alguns destes modelos (Parsons Brinckerhoff, 1996; Kuby et al., 2004) incluem dados das várias cidades numa análise, como índices de aquecimento ou arrefecimento ou estatísticas metropolitanas básicas, como área ou população. Outros consideram apenas dados de uma área de estudo em particular (Walters & Cervero, 2003, Chu, 2004) e logicamente, não utilizam variáveis de toda a cidade (Gutiérrez 2011).

No estudo de Parsons Brinckerhoff (1996) foi realizada uma análise de regressão a partir de dados ao nível da estação, no sentido de prever os embarques diários na estação, para uma nova linha de metro de superfície em Charlotte-Mecklenburg, Carolina do Norte. Esta análise combinou dados de diferentes redes de transporte ferroviário (261 estações em 19 linhas de 11 regiões dos EUA e Canada). Como preditores, foram utilizadas as variáveis de densidade (população e emprego) e as características da estação (por exemplo, a distância ao CBD, parques de estacionamento, e serviços de autocarro alimentadores). Concluiu-se que, apenas a presença de parques de estacionamento não foi significativa para um valor de 1% de significância (Gutiérrez 2011).

Kuby et al. (2004) utilizou um modelo de regressão múltipla para determinar os fatores que contribuem para uma maior utilização do metro de superfície, analisando estações de nove redes distintas. Emprego, população e inquilinos dentro de um limite de distância pedonal foram significantes, bem como a presença de rotas de autocarro, parques de estacionamento e o fator de centralidade. Variáveis relativas ao tipo de estação, bem como variáveis extensíveis ao ambiente urbano, tais como temperatura do dia ou população da área metropolitana foram também consideradas positivas e significantes. Apenas duas variáveis incluídas no modelo final não foram significantes a um nível de significância de 5%: estações com ligação a terminais de aeroporto e a

proporção de emprego na área metropolitana coberta pela rede. O modelo obteve um coeficiente de 0,72, superior ao 0,53 obtido no estudo de Parsons Brinckerhoff, onde apenas foram analisadas estações externas ao CBD. Os autores concluíram que o modelo resultante poderia ser de grande utilidade numa primeira abordagem para prever a procura para futuros planeamentos na rede de metro (Gutiérrez 2011).

Walters e Cervero (2003) desenvolveram um modelo de estimação direta no sentido de prever a entrada de passageiros, para planos de extensão alternativos do sistema de transporte ferroviário, na área da baía de São Francisco, Califórnia (EUA), e indicar futuras políticas de uso do solo para as áreas a intervencionar. Foram selecionadas duas equações finais com combinações lógicas e interpretáveis das variáveis e com maior poder explicativo. Ambas as equações incluíam variáveis como a densidade populacional e de emprego em torno de estações, meio de transporte (metro vs. comboio), frequências do serviço de comboio e população abrangida. Ambas as equações, permitiram explicar entre 87% a 90% da variação do número de entradas na estação. Além disso, a abordagem de modelagem direta, tornou possível a seleção e a introdução de variáveis que ajudaram nos “testes de sensibilidade”, necessários para as políticas a serem implementadas. Foi assim provado, por exemplo, que o desenvolvimento do uso do solo, concentrado em torno das estações, pode trazer benefícios significativos no número de entradas dessas mesmas estações (Gutiérrez 2011).

Chu (2004) desenvolveu um modelo direto usando uma regressão de *Poisson*, no sentido de explicar a utilização do autocarro em Jacksonville, Flórida (EUA). Variáveis que abordavam as características das áreas de serviço, o ambiente pedonal, a acessibilidade da população e emprego, as interações com outros modos e a competição com outras paragens na mesma área de influência, desempenharam um papel significativo no número de acessos a paragens, em termos médios semanais (Gutiérrez 2011).

García-Palomares et al. (2008) desenvolveram um modelo de regressão linear múltipla, com o intuito de analisar as variáveis com maior influência no número de entradas nas estações do metro de Madrid (Espanha). Neste modelo foram incorporadas variáveis relativas às características de cada estação (número de linhas, número de acessos à estação, etc.) e da sua envolvente (população, emprego, usos do solo, desenho urbano, presença de modos “alimentadores”, etc.), sendo destacado o papel das 3Ds (densidade, diversidade e *design*), da distância da estação ao centro da cidade e das

características da estação, na utilização do serviço de metro. Os autores destacaram ainda, a importância dos modelos de regressão linear na planificação do transporte público, seja pela capacidade de estimar a procura em redes já consolidadas ou em planeamento, ou pela sua capacidade em fornecer informação de grande utilidade nas operações urbanísticas de requalificação da envolvente das estações.

#### **4.1 A importância da proximidade na estimação da procura potencial**

Na abordagem da estimação da procura do transporte público e do impacto das características da área de serviço nessa mesma procura, é importante reconhecer a importância da acessibilidade ao mesmo. De acordo com Bertolini (1999), a acessibilidade “não é apenas uma característica de uma rede de transporte, no sentido de perceber quais e quantos destinos, em que tempo e com que facilidade podem ser alcançados a partir de uma determinada área, mas também do lugar, no sentido de perceber com que facilidade pode uma determinada estação ser alcançada” (Gutiérrez 2011).

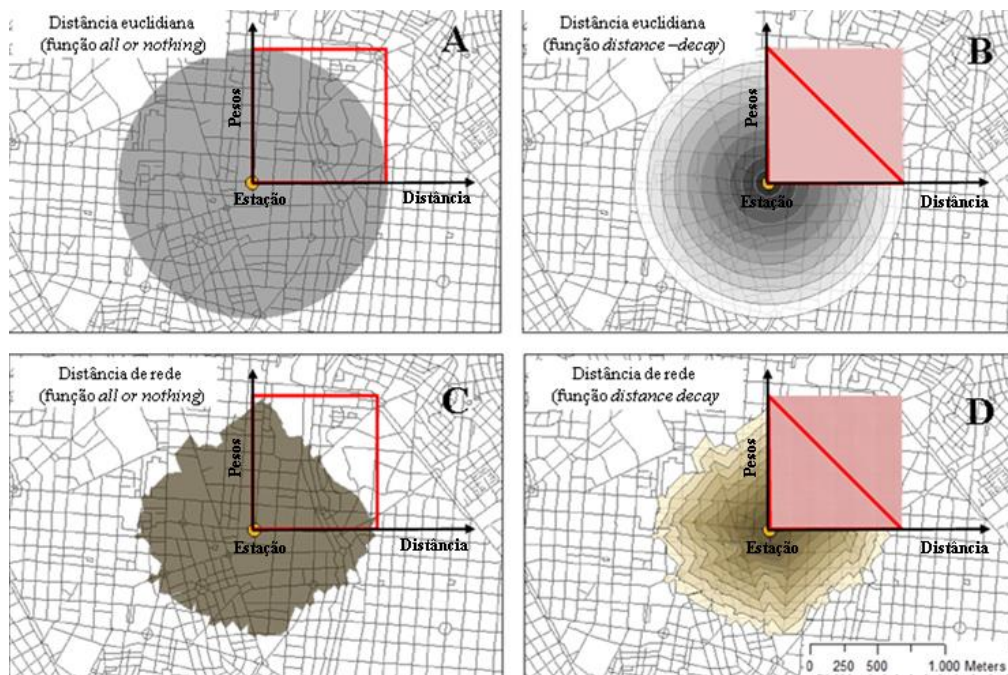
Nesse sentido, é bem conhecido a influência da distância pedonal no acesso ao transporte público, tendo esta um impacto negativo na utilização do mesmo. Como já anteriormente abordado, existe uma relação entre a distância e a acessibilidade pedonal ao transporte público, no sentido em que a disponibilidade para caminhar até a um destino diminui com o aumento da distância a partir dele. O número de utilizadores que caminham até às estações ou paragens de transporte público diminuem significativamente com a distância. Se as distâncias pedonais de acesso ao transporte público são aumentadas e as pessoas têm meios alternativos para viajar, verifica-se uma diminuição do número de utilizadores do transporte público (García-Palomares 2013).

Keijer e Rietveld (2000), num trabalho realizado na Holanda, verificaram que as pessoas que vivem num limite entre os 500-1000m das estações de comboio, tendem a utilizar com menor frequência os serviços de transporte ferroviário, comparativamente com aquelas que vivem na faixa de distância inferior a 500m das estações. Untermann (1984), através de um trabalho de inquérito, descobriu uma relação de *distance-decay*, no qual a maioria das pessoas estão recetíveis a caminhar 150 metros, 40% dos inquiridos 300 metros, e apenas 10% estariam recetíveis a caminhar 800 metros para aceder ao transporte público. Zhao et al. (2003) levaram a cabo uma pesquisa que incidiu diretamente sobre os utilizadores do transporte público, no sentido de determinar

o efeito da distância pedonal a percorrer, na utilização do mesmo, verificando que a sua utilização decresce, exponencialmente, com o aumento da distância a caminhar para aceder às paragens ou paragens de transporte público. Levinson e Brown-West (1984) classificaram os utilizadores do autocarro, de acordo com a distância pedonal de acesso e os níveis de posse de veículo privado, comparando-os com o número de habitações em cada secção. Foram calculadas uma série de curvas de penetração sobre a utilização, que mostraram que a utilização diminui linearmente com o aumento da distância pedonal (Gutiérrez 2011).

Nesse sentido, verifica-se que a acessibilidade ao transporte público deve ser considerada como um dos mais importantes fatores que condicionam a utilização do mesmo. De facto, as taxas de utilização do comboio são elevadas quando se verifica que, quer a origem quer o destino, estão espacialmente próximos da estação (Cervero, 1994). Portanto, a localização de habitações e de locais de emprego, dentro de um limite de poucas centenas de metros, de uma estação de comboio, irá originar um maior número de entradas nas mesmas, em comparação com os casos em que estas condições se verifiquem a distâncias próximas de um 1km (Bernick e Cervero, 1997 in Gutiérrez 2011).

No que diz respeito aos modelos de estimação da procura, é sabido que os modelos regionais não são sensíveis a estas variações do uso do solo, uma vez que eles assumem que todos os percursos, em qualquer área, têm como ponto de origem o seu centróide. Por outro lado, os modelos diretos de estimação, baseados nas ferramentas SIG, têm capacidade para capturar o efeito da distância e as tendências de utilização, que diminuem com o aumento da distância pedonal à estação. No entanto, os poucos modelos de estimação direta existentes não abordam a distância pedonal adequadamente, uma vez que eles consideram os níveis de população ou de emprego dentro de uma área de serviço da estação (independentemente do método de delimitação e dos limites de distância utilizados), a partir de uma abordagem *all-or-nothing*. Isto é, limitam-se, apenas, a verificar os totais de população e de emprego que são ou não abrangidos pela área de serviço, não fazendo qualquer tipo de distinção entre a procura que se localiza, por exemplo, a 500m e a que se localiza a 100m (figura 16; A e C – pág.67) (Gutiérrez 2011).



**Figura 16** - Métodos de cálculo da função da distância à estação (all or nothing vs. função de distance-decay) de acordo com o método de delimitação das áreas de serviço (distancia euclidiana vs. distância de rede (fonte: Gutiérrez et al., 2011).

No estudo de Parsons Brinckerhoff (1996), foram utilizados como preditores a densidade populacional e de emprego dentro de um limite de 800m. Walters e Cervero (2003) calcularam a população e o emprego total, dentro de vários limites de distância (0-400m; 400-800m; 800-1600m), embora as mais ajustadas equações de regressão múltipla tenham incluído apenas as densidades totais de população e emprego, dentro de um limite de 800 metros das estações. A distância pedonal de 800 metros foi também utilizada por Kuby et. al (2004), embora tenha sido calculado através do método das distâncias de rede e não através das distancias euclidianas. Desta forma, verifica-se que nestes trabalhos não foi possível refletir o impacto da distância na utilização do transporte público, da concentração habitacional ou de emprego nas menores ou maiores distâncias a partir da estação, onde estes estão localizados dentro dos limites das áreas de serviço das estações (Gutiérrez 2011).

Uma vez que é conhecida a tendência de que a utilização do transporte público diminui com o aumento da distância às estações ou paragens, os modelos de estimação devem ser capazes de refletir este padrão. A utilização de uma função de *distance-decay* deve ser incorporada nestes modelos de estimação, no sentido de atribuir um peso

superior às áreas que estão mais próximas das estações (onde há uma maior probabilidade de utilizar o transporte público), comparativamente com aquelas que estão mais afastadas (onde a probabilidade é menor) (figura 16; B e D – pág.67). Desta forma, verifica-se que, apenas os modelos que incorporam este tipo de funções, são sensíveis às diferentes distribuições das variáveis independentes na área de serviço da estação (Gutiérrez 2011).



## 5. Metodologia

### 5.1 Enquadramento geográfico

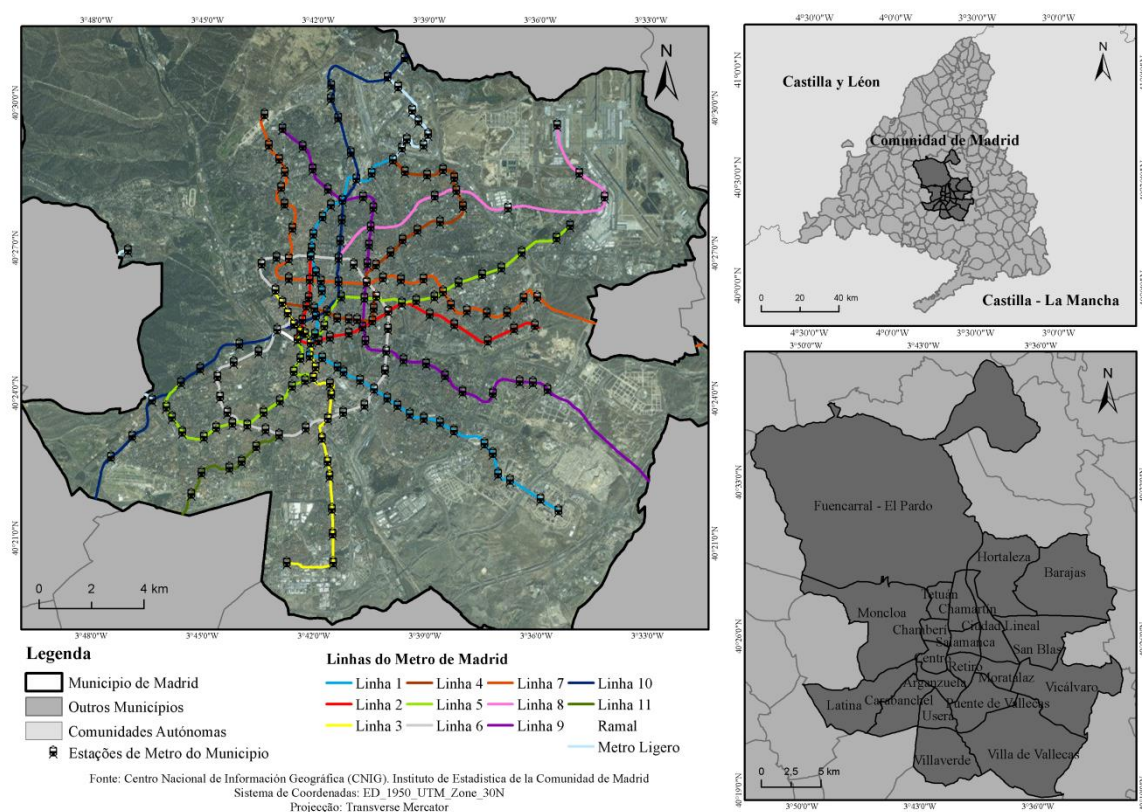
A área de estudo deste projeto é toda a área respeitante ao município de Madrid, que é a capital de Espanha e da comunidade de Madrid, sendo a terceira cidade europeia com mais população residente, com cerca de 3.265.038 habitantes, embora a comunidade de Madrid possua cerca de 6.489.680 habitantes no seu total (IECM, 2011)<sup>13</sup>. Com cerca de 604km<sup>2</sup> de área total, o município de Madrid está dividido administrativamente em 21 freguesias, que por vez se subdividem em bairros.

O concelho de Madrid possui uma área urbana perfeitamente consolidada, sobretudo na área central do município, verificando-se uma grande densidade populacional e de empregos. No que diz respeito à atividade económica, a área central do município, sobretudo na zona da Almendra Central<sup>14</sup>, o sector terciário é o sector predominante, com destaque para os serviços financeiros, empresariais, educativos e de saúde; sendo que nas áreas periféricas (coroa metropolitana) as atividades dominantes são as industriais, a construção e a atividade manufatureira (Vega Baez 2006, Latorre 2012).

---

<sup>13</sup> População residente à data dos censos 2011 (fonte: Instituto de Estatística da Comunidade de Madrid)

<sup>14</sup> Área central do município, correspondente a toda a área delimitada pela *Calle 30*, via de grande capacidade que circunda o centro de Madrid.



**Figura 17** - Enquadramento geográfico do município de Madrid e da rede de metro do mesmo.

A rede de metro da comunidade de Madrid é composta por treze linhas (mais três linhas de *metro ligero*), com cerca de 293km de extensão e 300 estações no total (tabela 4). No entanto, apenas oito linhas estão integralmente inseridas no município de Madrid, sendo que quatro linhas têm parte do seu traçado em outros municípios adjacentes e uma tem o seu traçado totalmente externo ao município. No total, cerca de 135km de linha e 199 estações da rede estão inseridas na área correspondente ao município de Madrid.

Linhas	Terminais	Extensão (km)	Número de estações	Municípios abrangidos
<b>1</b>	Pinar de Chamartín - Valdecarros	23,876	34	Madrid
<b>2</b>	Las Rosas - Cuatro Caminos	14,031	20	Madrid
<b>3</b>	Villaverde Alto - Moncloa	16,424	18	Madrid
<b>4</b>	Argüelles – Pinar de Chamartín	16	23	Madrid
<b>5</b>	Alameda de Osuna - Casa de Campo	23,217	32	Madrid
<b>6</b>	Circular	23,472	28	Madrid
<b>7</b>	Hospital del Henares - Pitis	32,919	30	Madrid, Coslada e San Fernando de Henares

8	Nuevos Ministerios – Aeropuerto T4	16,467	8	Madrid
9	Mirasierra – Arganda del Rey	39,5	28	Madrid, Rivas-Vaciamadrid e Arganda del Rey
10	Hospital Infanta Sofía – Puerta del Sur	36,514	31	Madrid, Alcorcón, Alcobendas e San Sebastián de los Reyes
11	Plaza Elíptica – La Fortuna	8,5	7	Madrid e Leganés
12	MetroSur (circular)	40,96	28	Alcorcón, Móstoles, Fuenlabrada Getafe, Leganés
R	Ópera – Príncipe Pío	1,092	2	Madrid

**Tabela 4** - Linhas da rede de Metro de Madrid.

A utilização dos diferentes meios de transporte público em Madrid tem vivenciado, nos últimos anos, um crescimento progressivo, sendo comprovado pelo facto de, entre os anos 2001 e 2006, se ter verificado um aumento superior a 100 milhões de viagens. Em contraste com grande parte das metrópoles mundiais, este aumento na procura e na utilização contribuiu para um equilíbrio entre o uso do transporte público e o privado, sendo que na área central do município, o transporte público tem maior predominância no número total de viagens efetuadas. García e Gutiérrez (2007) destacaram, entre outros fatores, a importância do modelo urbano denso e compacto da cidade de Madrid, na utilização do transporte público (Cardozo et al. 2010).

Este aumento da utilização do transporte público deve-se, sobretudo à rede de metro da área metropolitana de Madrid, que como já referido se estende a outros municípios vizinhos (a sul, norte e este), e que se consolidou como o modo de transporte público com maior procura. Em 2006, o metro de Madrid alcançou os 650 milhões de viagens, representando cerca de 40,5% do volume total de viagens do transporte público (Cardozo et al., 2010). Este facto, não é alheio aos inúmeros planos de expansão da rede, sendo que entre 1995 e 2006, foram adicionados 106km de linhas novas e 73 novas estações (MetroMadrid, 2014<sup>15</sup>), convertendo a rede de metro de Madrid numa das mais extensas da Europa, depois da rede de metro de Moscovo e de Londres (Cardozo et al., 2010). Segundo Martín et al., (2004), mais de 50% da população do município de Madrid reside a menos de 10 minutos de uma paragem de metro, o que realça a importância e todo o potencial de utilização deste modo de transporte, como alternativa ao uso do automóvel particular (Vega Baez 2006). O facto

<sup>15</sup> Ver em <http://www.metromadrid.es/es/conocenos/infraestructuras/red/index.html>

de 80% dos passageiros que acedem à rede de metro fazerem-no pedonalmente, é prova disso mesmo (García-Palomares 2013).

Atualmente, a rede de metro de Madrid conta com 300 estações e 293km de extensão de linha, tendo em 2013, registando cerca de 558 milhões de acessos. É ainda importante referir que está já em curso um novo plano para expansão da rede (*Plan de Ampliación 2011 – 2015*), que prevê a criação de 3 novas linhas (Torrejón de Ardoz-Madrid; Móstoles-Navalcarnero e Puente de los franceses-Moncloa) e a ampliação das linhas 3 e 9 (MetroMadrid, 2014).

Do ponto de vista da cobertura do transporte público, e segundo Martín et al., (2004) mais de 90% da população reside a menos de 5 minutos de uma paragem de autocarro, mais de 50% reside a menos de 10 minutos de uma paragem de metro, e cerca de 16,4% da população tem uma estação de comboio a menos de 10 minutos, o que realça a importância e as características dos sistemas de transportes públicos, como alternativas ao uso do automóvel particular.

Ano	Extensão de linha (km)	Número de estações	Acessos (milhões)
1980	82	120	408
1995	121	164	397
2006	227	237	657
2008	284	294	685
2009	284	294	649
2010	293	300	627
2011	293	300	634
2012	293	300	601
2013	293	300	558

**Tabela 5** - Evolução histórica do metro de Madrid (fonte: MetroMadrid, 2014).

No espaço urbano de Madrid também se tem verificado uma evolução, marcada por “um período de grande dinamismo urbano, tendo abrandado nos últimos anos como consequência do período de crise económica” (Cardozo et al. 2010). Durante a década de 90, e de acordo com a informação do projeto *Corine Land Cover*, a superfície de solo urbano, na comunidade de Madrid, aumentou cerca de 30.000 ha (um aumento de cerca de 47,7%), sendo que, no mesmo período, o crescimento populacional não ultrapassou os 8%. Este crescimento do solo urbano (sobretudo na periferia da cidade e nos municípios metropolitanos adjacentes) foi essencialmente marcado por modelos de

baixa densidade, sejam em edificações unifamiliares ou em altura, em espaços abertos e pouco compactos, verificando-se igualmente um zonamento na distribuição do solo, em contraste com a mescla de usos do solo típica na área central de Madrid (Cardozo et al. 2010).

### **5.1.1 Rede viária do município de Madrid**

A rede viária do município de Madrid é caracterizada pela sua diversidade de características e desenhos, sendo possível distinguir diferentes tipos de viários ao longo do município. De uma forma geral, evidenciam-se dois tipos de padrão entre a área central do município e as áreas periféricas, que se diferenciam ao nível da densidade de vias.

Na primeira é possível destacar dois tipos de desenhos viários predominantes: o irregular de alta densidade e o ortogonal. Estes são fundamentalmente resultantes do processo de crescimento urbano ao longo do tempo, sendo o traçado irregular de alta densidade mais característico nas áreas históricas da cidade (*casco antigo*) e o traçado ortogonal, resultante dos processos de planeamento urbano do séc. XIX – *os ensanches*. Por outro lado, as áreas periféricas são caracterizadas pela menor densidade de vias, sendo marcadamente influenciada pela rede irregular de baixa densidade. No entanto, é possível verificar áreas na periferia do município com um traçado regular, embora com níveis de densidade de vias consideravelmente inferiores aos observados no centro do município.

No que diz respeito à envolvente das estações, esta acompanha a tendência geral de todo o município. As estações localizadas no centro do município estão, em geral, localizadas em áreas com uma rede viária de grande densidade, sendo que as estações periféricas localizam-se em áreas, cuja densidade viária não é tão elevada.

O *Plan General de Madrid* de 1985 classifica o viário do município de Madrid da seguinte forma (Hernández 1995):

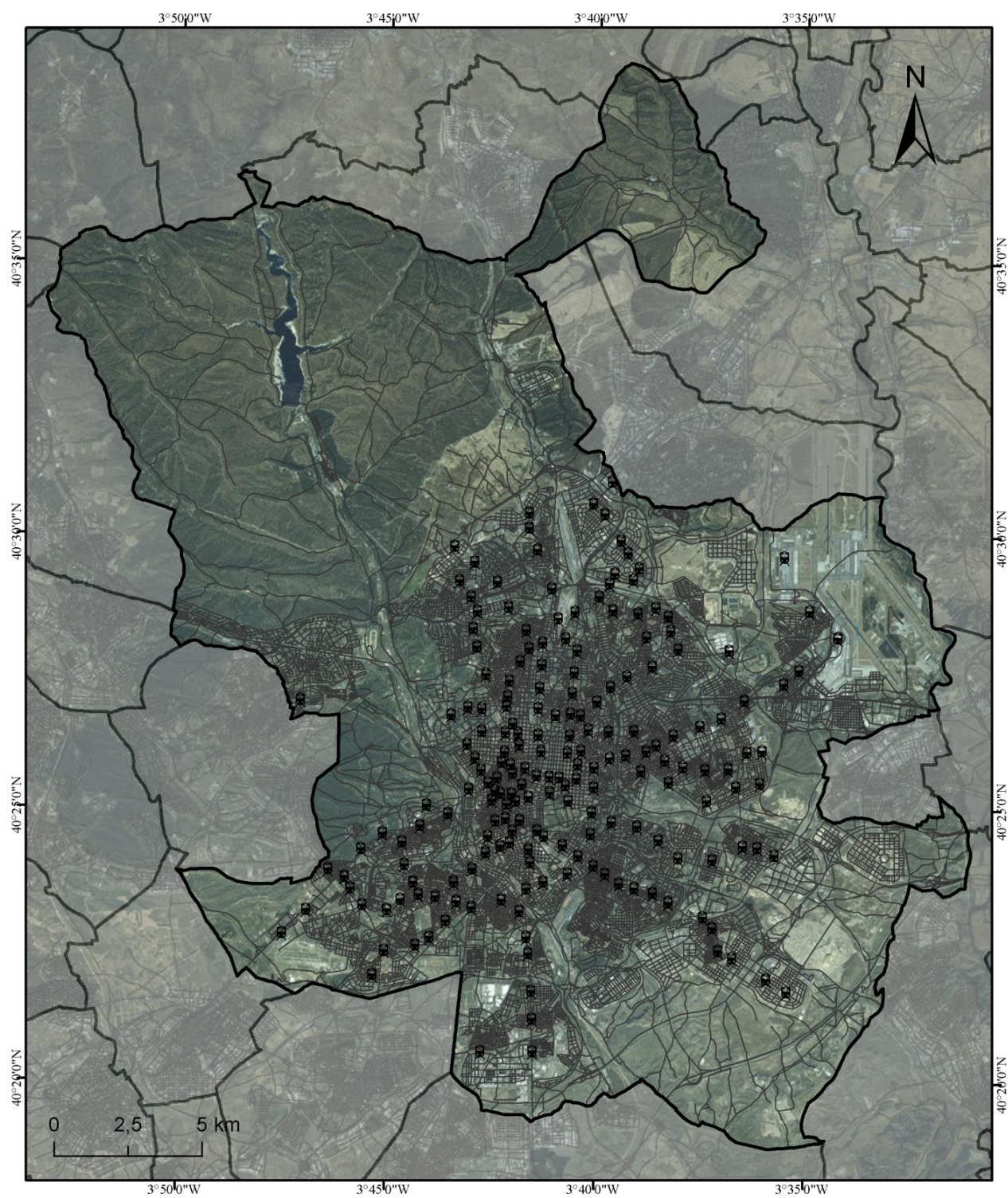
Autoestradas e vias reservadas ao automóvel: que alimentam os altos volumes de tráfego automóvel, fundamentalmente nas deslocações interurbanas, com separação de vias para cada sentido;

Artérias primárias e avenidas metropolitanas: que completam a rede de primeira ordem e são a base para as deslocações de larga distância na área urbana.

Rede secundaria: que tem como função principal a conexão com as distintas áreas do município e com as vias mais importantes

Vias de carácter local ou particulares: cuja função principal é canalizar o tráfego até às diferentes atividades.





### Legenda

Estações de Metro do Município
  Rede Viária
  Municipio de Madrid
  Outros Municípios

Fonte: Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid

Sistema de Coordenadas: ED\_1950\_UTM\_Zone\_30N

Sistema de Projecção: Transverse Mercator

**Figura 18** - Rede viária do município de Madrid

## 5.2 Dados

Na elaboração do presente trabalho foram utilizados dados cartográficos e informações estatísticas, provenientes de várias fontes. É importante referir que praticamente toda a informação utilizada neste trabalho está disponível para uso público, nomeadamente no *website* da Comunidade de Madrid, do *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid* e do *Instituto Geográfico Nacional*.

- Rede viária: rede digital do município de Madrid, obtida através do *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid*. Esta rede apresenta boa qualidade ao nível da sua conectividade, fator essencial para a delimitação das áreas de serviço das diferentes estações da rede de metro, inseridas no município de Madrid. Além disso, permite simular as rotas de acesso de pedestres às diferentes estações, possibilitando a análise das características do desenho urbano no acesso à rede de Metro.

- População: dados do *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid*: População por municípios, freguesias e secções segundo idade e ano de nascimento para cada sexo, oriundos do Padrão Municipal, do ano de 2011, consultados em Outubro de 2013. A informação relativa à população obteve-se ao nível da secção e da freguesia.

- Números de Polícia: Localização dos números de polícia de Madrid obtida através do *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid*. Informação descarregada em Novembro de 2013. A partir da localização dos números de polícia e da informação dos usos do solo, foi possível determinar quais os pontos localizados nos usos residenciais (multifamiliar e unifamiliar), bem como determinar quais os pontos abrangidos pelas áreas de serviço das diferentes estações da rede de metro.

- Usos do solo: informação dos usos do solo obtida a partir das microsecções de Madrid, sendo a informação cedida pelo *Departamento de Geografía Humana da Universidade Complutense de Madrid*, provenientes do projeto *Corine Land Cover* (ano 2000). Estes dados foram utilizados para definir a localização e distribuição da população e do emprego, nas secções censitárias, de acordo com os diferentes usos do solo.

- Principais pontos de atividade económica: informação relativa à localização das atividades e coletivo empresarial por tamanho e atividade, proveniente do *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid*. Dados do ano de 2010, descarregados a Outubro de 2013.



- Linhas e estações da Rede de Metro de Madrid, facultada pelo *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid*, e consultada em Outubro de 2013. Esta rede é necessária para representação espacial da rede e posterior análise espacial.

- Limites Administrativos: obtidos através do *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid*, ao nível dos municípios, freguesias e secções, e do *Centro Nacional de Información Geográfica* (CNIG), ao nível das comunidades autónomas, permitindo a realização da análise espacial da cobertura das diferentes estações da rede de Metro.

Toda a informação presente neste trabalho foi trabalhada com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica, uma vez que estes constituem uma ferramenta de grande utilidade na elaboração de análises espaciais. O *software* utilizado em todo o projeto foi o *ArcGis Desktop 10.2*, sendo utilizadas as diferentes extensões e ferramentas do mesmo, com especial destaque para a extensão de análise espacial (*Spatial Analyst*) e de análise de redes (*Network Analyst*). Esta última foi determinante para a delimitação das diferentes áreas de serviço, de acordo com os diferentes parâmetros que serão esmiuçados no decorrer deste projeto.

Todos os dados utilizados neste projeto foram projetados de acordo com o sistema de coordenadas ED\_1950\_UTM\_Zone\_30N, com o sistema de projeção *Transverse Mercator*, sendo que todos os dados obtidos e trabalhados no decorrer deste projeto foram armazenados em diferentes *geodatabases*.

### **5.3 Distribuição da população e emprego (procura potencial)**

O primeiro passo deste trabalho de projeto passou pela desagregação dos dados da população (do padrão contínuo de habitantes do ano de 2011) ao nível da secção, tendo como base a aplicação de dois critérios nessa distribuição: os diferentes usos do solo na área de estudo e a área de cada uso do solo por secção (microsecções), a partir dos dados do uso do solo (*shapefile* de polígonos) e dos limites administrativos (*shapefile* de polígonos) obtidos, respectivamente, através do *Consortio de Transportes da Comunidad de Madrid* e do *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid*.

Na realização desta etapa foram seguidos os seguintes passos:

1. Distribuição da população residente, do ano 2011, em cada uma das secções do município de Madrid. Tendo como ponto de partida o código comum da secção, foi

possível anexar os dados da população residente (por sexo e classes etárias) aos limites administrativos de cada secção;

2. Identificação das áreas de uso residencial na *shapefile* dos usos do solo, correspondentes ao uso residencial unifamiliar (RU), uso residencial multifamiliar (RM), uso residencial sem qualificação (R e RD), sendo este último anexado ao residencial unifamiliar. No total foram identificados cerca de 95,5km<sup>2</sup> de área correspondente ao uso residencial (RM – 81km<sup>2</sup>; RU – 12,5km<sup>2</sup>; RD – 2km<sup>2</sup> R – 0,06km<sup>2</sup>), correspondendo a aproximadamente 16% de toda a área do município de Madrid (604km<sup>2</sup>);

3. Distribuição da população residente pelas diferentes áreas de uso do solo (microsecções). Através do comando *intersect*, combinou-se os dados do uso do solo com os dados da população residente por secção, obtendo-se a população por uso do solo em cada secção do município;

4. Distribuição da população residente pelo uso residencial. Após a obtenção da distribuição da população residente por uso do solo (passo 3), procedeu-se à distribuição da população residente pelos diferentes usos residenciais (RM, RU, RD e R). Para o efeito foram aplicados dois tipos de pesos:

- O primeiro correspondente ao tipo de uso do solo, onde para cada secção, se atribuiu o peso de 0,9 ao uso RM e 0,1<sup>16</sup> ao uso RU (onde estão também inseridos os usos RD e R). A todos os outros usos de solo não residenciais, foi atribuído o peso 0. Nas secções onde apenas constava um dos usos residenciais em questão (RM ou RU) foi atribuído o peso total de 1, mantendo-se o peso de 0 para todos os não residenciais. Nas secções onde não se verificou nenhum tipo de uso residencial, todos os usos não residenciais mantiveram o peso 0.
- O segundo peso correspondente ao peso da área (variando entre 0 e 1), sendo que este peso, tal como o primeiro, apenas foi aplicado aos usos residenciais (RM ou RU). Para o efeito, foi calculada a proporção da área de cada um dos dois usos residenciais, sendo o valor do peso atribuído correspondente à proporção da área dos dois usos residenciais em questão. Nos casos onde apenas

---

<sup>16</sup> A aplicação dos dois pesos relativos aos usos residencial multifamiliar e unifamiliar, deve-se à relação entre a distribuição da população e os mesmos usos do solo, verificada no ano de 2004, numa análise cartográfica realizada à escala da microsecção, para o município de Madrid, que teve por base os usos do solo e a população. Esta cartografia é propriedade do *Consorcio Regional de Transportes de Madrid* e foi elaborada pelo *Departamento de Geografía Humana* da *Universidad Complutense de Madrid*.

constava um dos usos residenciais ou não se verificava nenhum dos usos residenciais, aplicaram-se as mesmas condições do primeiro peso.

- De seguida, e para obter um peso médio, aplicou-se uma média dos dois pesos ( $PesoMédio = \frac{PesosUsoSolo + PesoÁrea}{2}$ ), multiplicando-se posteriormente o peso médio obtido pela população residente de cada secção. Desta forma, obteve-se a população residente por microsecção, distribuída pelos usos do solo residenciais, ponderados por tipo de uso do solo e pela área. É importante referir que, após este passo, verificou-se uma discrepância entre os dados iniciais da população residente por secção (3.265.038 habitantes) e os dados da população residente após a aplicação do peso médio (3.148.300 habitantes). Esta discrepância de valores é explicada pelo facto de, em algumas secções, não se verificar a presença de nenhum tipo de uso do solo residencial (RM ou RU). Estas secções, após a aplicação dos pesos médios, foram consideradas como não contendo nenhuma população residente, contrariando os dados iniciais da população residente por secção;

5. Localização dos números de polícia pertencentes a cada polígono de uso residencial. Após a distribuição da população pelas diferentes microsecção de uso residencial (ponderadas pelos diferentes pesos), procedeu-se à localização e contabilização (através do comando *intersect*) do total de números de polícia que se encontravam no interior de cada microsecção de uso residencial. No total foram contabilizados 163.931 números de polícia, distribuídos pelas diferentes áreas de uso residencial, no município de Madrid;

É importante referir que se deve ter em atenção a distribuição da população pelos diferentes usos do solo residencial, uma vez que as estimativas da população residente, que integram os diferentes limites administrativos, podem condicionar os resultados finais. No sentido de minimizar a magnitude do erro, neste tipo de estimativas, é importante que os dados sofram a maior desagregação espacial possível. A utilização de microsecções e a aplicação dos pesos do uso do solo e da área, na distribuição da população, permitiram uma estimativa mais aproximada da realidade, pois possibilitou uma distribuição mais adaptável aos dados espaciais. Por outro lado, a utilização dos pesos do uso do solo, diferenciando o uso do solo residencial multifamiliar e o unifamiliar, permitiu incorporar a influência das construções em altura, típicas das grandes áreas urbanas, incluindo o município de Madrid.

O tratamento dos dados relativamente ao emprego consistiu num processo relativamente mais simples. Os pontos de atividade já previamente georreferenciados (num total de 56.096 pontos de atividade no município de Madrid), continham informação relativa ao número de trabalhadores por tipo de atividade. Na informação disponibilizada, vinha atribuído um código correspondente à categorização do número de trabalhadores em diferentes classes. Não sendo possível conhecer, com exatidão, o número de trabalhadores de cada ponto de atividade, foi atribuído o valor médio de cada classe, para que todos os pontos de atividade, identificados com o mesmo código, possuísem o mesmo número de trabalhadores. Na tabela 6 é possível observar os dados correspondentes à informação relativa aos pontos de atividade, correspondendo cada código à sua respectiva descrição. No código 6, foi atribuída a média de 251 trabalhadores, uma vez que não existe informação sobre qual o número máximo de trabalhadores por ponto de atividade. Atribuídas as médias de trabalhadores, de acordo com o código de cada ponto de atividade, obteve-se um total de 1.288.195 trabalhadores.

Código	Descrição	Média
2	De 3 a 9 ocupados	6
3	De 10 a 49 ocupados	30
4	De 50 a 99 ocupados	75
5	De 100 a 249 ocupados	175
6	250 ou mais ocupados	251

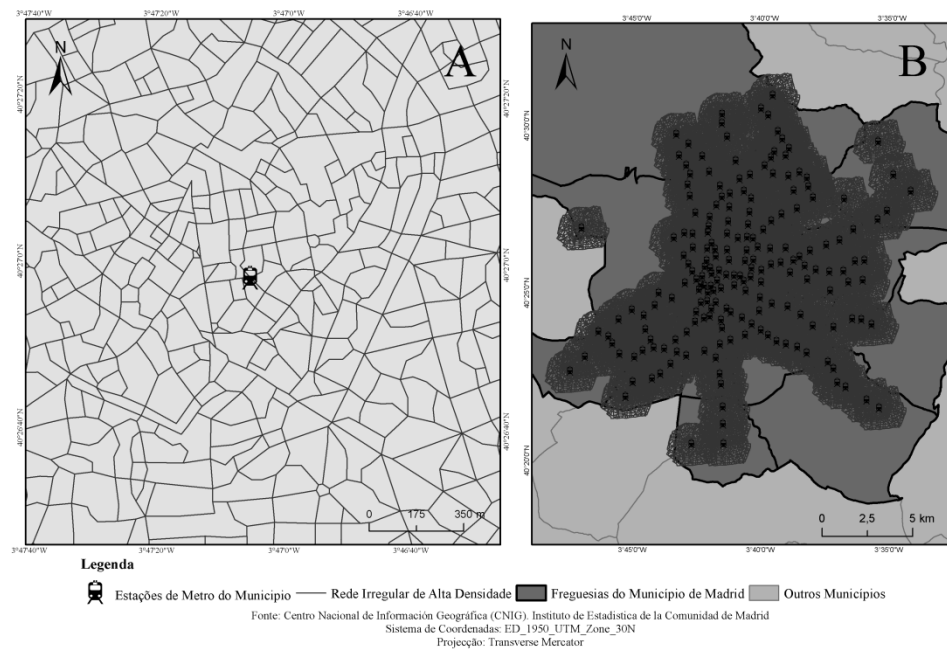
**Tabela 6** - Média de trabalhadores por ponto de atividade.

#### 5.4 Definição e desenho dos tipos de redes viárias fictícias a avaliar

Para efeitos de avaliação da influência do desenho urbano na cobertura espacial e na acessibilidade à rede de metro do município de Madrid, foram desenhadas cinco tipos de redes viárias fictícias.

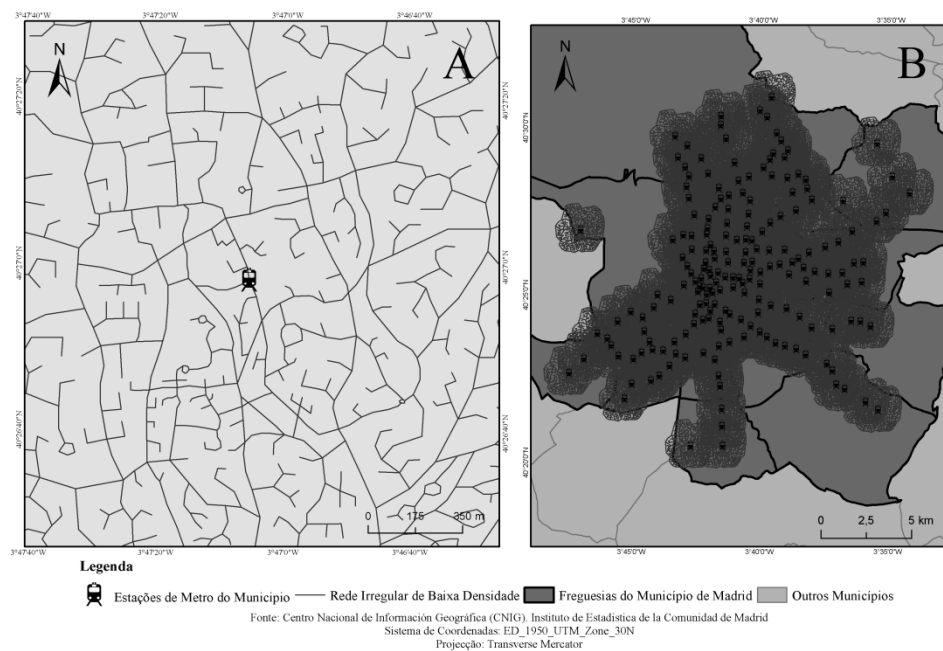
- Uma rede viária irregular de alta densidade (figura 19 – pág.81), com o intuito de simular as áreas urbanas tradicionais. O objetivo passa por simular as redes viárias com quarteirões de pequena dimensão, com grande densidade de vias e cujo desenho não obedece a um formato específico. Como modelo deste desenho foi utilizada a rede viária da cidade de Roma (Itália). O processo de criação da rede envolveu o *software*

*Google Earth*, no qual se retirou uma imagem aérea da área urbana, que serviu de modelo na criação da rede em questão.



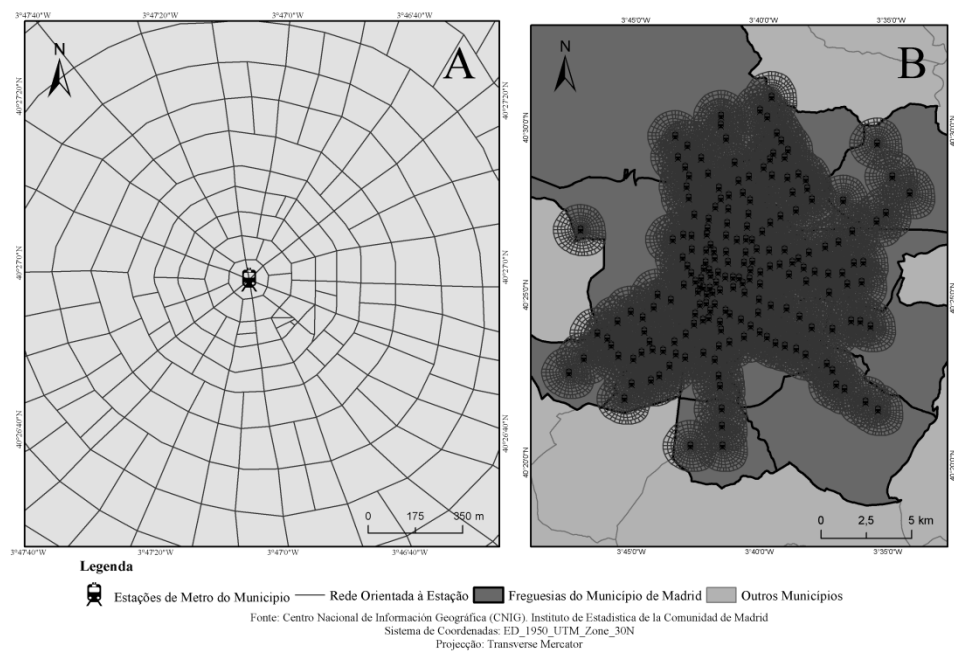
**Figura 19** - Rede irregular de alta densidade, com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).

- Uma rede viária irregular de baixa densidade (figura 20 – pág.82), com o intuito de simular os modelos de *urban sprawl*, típicos da expansão urbana nos subúrbios das grandes cidades. No desenho deste modelo procurou dar-se especial destaque para a presença de *cul-de-sacs*, típicos deste tipo de modelos urbanos, bem como para o facto de haver um conjunto de vias principais, para onde confluem as secundárias.



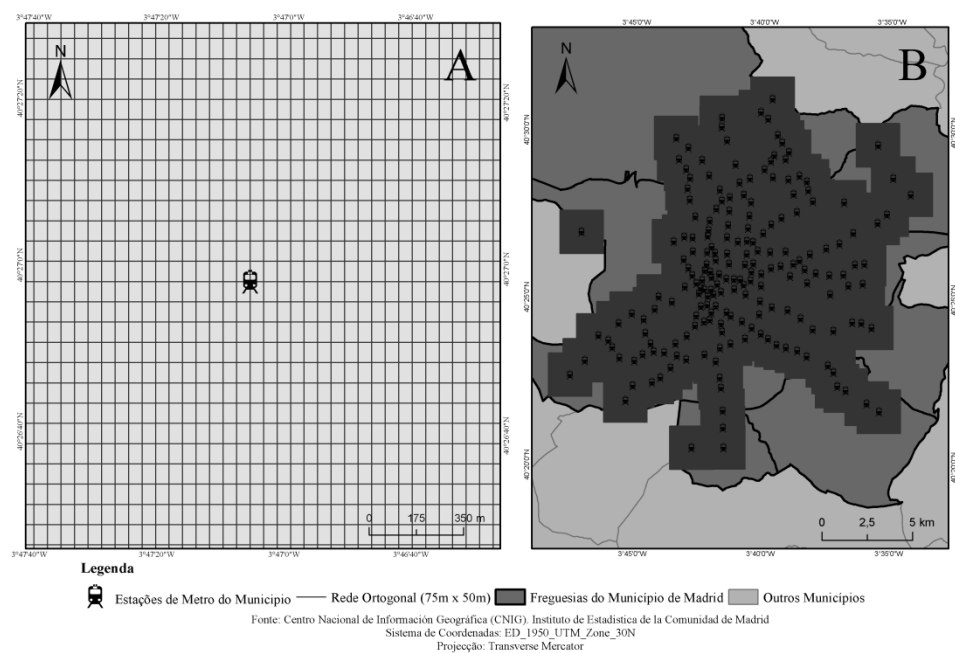
**Figura 20** - Rede irregular de baixa densidade, com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).

- Uma rede viária orientada à estação (figura 21 – pág.83), de formato radial, de forma a simular os modelos urbanos TOD (*Transit Oriented Development*). Aqui procurou-se simular o desenho urbano proposto por alguns teóricos como Hsiao et al., (1997) ou Loutzenheiser, (1997), que defendem modelos urbanos que fomentem o neotradicionalismo, com quarteirões de pequena dimensão e com um tipo de desenho que fomente a mobilidade e o transporte sustentável (Cardozo et al. 2010, Gutiérrez 2011). Como modelo para a criação desta rede viária, foi utilizada a cidade de Palmanova (Itália), sendo o processo de criação da rede, bastante similar ao utilizado no desenho da rede irregular de alta densidade.

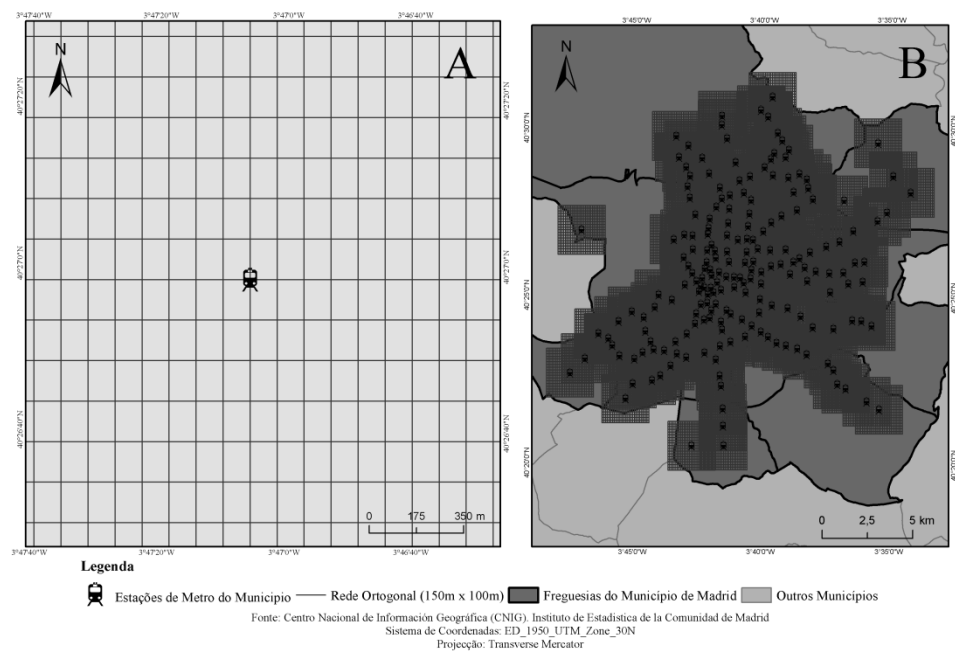


**Figura 21** - Rede orientada à estação, com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).

- Duas redes viárias ortogonais regulares, com variação na dimensão dos quarteirões. Uma rede com quarteirões com cerca de  $3750\text{m}^2$  de área ( $75\text{m} \times 50\text{m}$ ) (figura 22 – pág.84); e uma segunda com quarteirões com  $15.000\text{m}^2$  de área ( $150\text{m} \times 100\text{m}$ ) (figura 23 – pág.84). O objetivo passa por avaliar a influência da dimensão dos quarteirões na cobertura espacial de acesso, ao nível da estação.



**Figura 22** - Rede ortogonal (75mx50m), com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).



**Figura 23** - Rede ortogonal (150mx100m), com pormenor à envolvente da estação (A) e distribuída para todas as 199 estações de metro do município de Madrid (B).

Em todos os casos, a rede foi desenhada em torno de uma estação, sendo posteriormente replicada e “transladada” para as restantes 198 estações presentes no



município de Madrid. Este processo de distribuição das redes, pelas diferentes estações, foi realizado através da opção *Move*, da ferramenta *Editor*, sendo utilizadas as coordenadas de cada estação em relação à estação sob a qual foi desenhada a rede inicial. A opção de distribuir a mesma rede por todas as estações, relaciona-se com o objetivo de avaliar a influência do desenho urbano, sendo necessário para isso que a envolvente de cada estação, seja exatamente a mesma para todas as estações. Nas cinco redes, procurou-se localizar a estação num ponto central da rede, com o intuito de facilitar as posteriores análises a efetuar. Além disso, foi necessário que o ponto correspondente à estação estivesse em contacto com a rede viária desenhada correspondente, no sentido de anular o efeito de sobreposição das redes das estações na proximidade, na delimitação das áreas de serviço.

### **5.5 Delimitação das áreas de serviço e análise da cobertura espacial**

Tendo as cinco redes viárias desenhadas e distribuídas pelas 199 estações da rede de metro, presentes no município de Madrid, o primeiro passo para a delimitação das áreas de serviço foi a construção das redes (as cinco redes desenhadas e a rede real do município de Madrid, que tal como acima referido, foi obtida através do *Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid*), através da ferramenta *New Network Dataset*, sendo definidos os critérios de construção. A construção das redes é um passo fundamental e obrigatório na análise de redes, sendo a qualidade dos dados iniciais determinante no resultado final.

Posteriormente, através da ferramenta *New Service Area* do *Network Analyst*, são definidos os critérios para a delimitação das áreas de serviço, sendo as 199 estações definidas como *facilities* no processo de delimitação. Quer para as cinco redes desenhadas, quer para a rede real do município de Madrid, foram aplicados os mesmos critérios de delimitação das áreas de serviço (*Polygon Generation*):

*Polygon Type*: Generalized

*Trim polygon*: 50 metros

*Multiple Facilities Options*: Overlapping

*Overlap Type*: Rings

Na delimitação das áreas de serviço de cada estação foram aplicados, para todas as seis redes em análise, três diferentes limites espaciais de cobertura (400m, 600m e 800m), de forma individual. Estes limites correspondem à distância máxima pré-

definida como aquela a que os utilizadores estão dispostos a caminhar para aceder a uma estação de metro, ou seja, à área de influência da estação. A escolha destes limites deveu-se ao facto de serem os mais utilizados na maioria dos trabalhos sobre acessibilidade ao transporte público (ver ponto 2.3 – pág. 14). Neste trabalho de projeto, optou-se por atribuir o mesmo limite espacial para todas as estações, uma vez que o objetivo passa por avaliar a influência da rede viária e não a influência das características da estação, na acessibilidade às estações da rede de metro. As áreas de serviço das diferentes redes fictícias, para os diferentes limites de análise, podem ser visualizadas nos anexos 2,3 e 4.

De seguida, e tal como apontado por Upchurch et al. (2004) e Gutiérrez & García-Palomares (2008), os polígonos das áreas de serviço foram combinados com os polígonos de *Thiessen* de cada uma das estações, no sentido de gerar áreas de serviço individualizadas, eliminando o efeito de sobreposição entre os polígonos iniciais (Upchurch 2004, Gutiérrez 2008). Esta opção metodológica deveu-se ao facto de as redes fictícias, não apresentarem uma distribuição uniforme na área de estudo, pelo facto de terem sido replicadas e “transladadas” para as diferentes estações (ver figuras 19, 20, 21, 22 e 23 – pág.81 a 84). Neste caso, e para evitar o efeito de sobreposição das redes viárias em torno das diferentes estações, sobretudo em áreas cuja densidade no número de estações é mais acentuada, optou-se por esta metodologia, no sentido de evitar os erros na delimitação das diferentes áreas de serviço.

Posteriormente, e para efeitos de análise da população coberta, os polígonos das áreas de serviço resultantes foram cruzados com as microsecções que contêm os dados da população residente (ponto 5.3 – pág.77), determinando a população residente coberta através do método de proporção de áreas (O'Neill et al., 1992; Chakraborty & Armstrong, 1997; Moreno & Prieto, 2003 in Cardozo et al. 2010):

$$P = \sum_{i=1}^n p_i * \frac{abi}{azi}$$

Onde:

$P$  = população na área de serviço

$i \dots n$  = polígonos total ou parcialmente incluídos na área de serviço

$p_i$  = população na área da microsecção

$abi$  = área do polígono formado pela intersecção entre o polígono da área de serviço e o polígono da área da microsecção

$azi$  = área da microsecção

Quanto aos números de polícia e às atividades económicas, procedeu-se apenas à intersecção dos respectivos pontos com os polígonos das áreas de serviço resultantes, de forma a determinar o número total de números de polícia e o total de pontos de atividade (que contém a informação relativa ao número de trabalhadores) considerados cobertos espacialmente. Esta metodologia foi aplicada, de igual forma, para os três limites espaciais de cobertura em análise (400m, 600m e 800m).

Para as todos os limites espaciais de cobertura, pretendeu-se comparar a população e emprego cobertos, superfície total coberta, quer em ao nível da rede de metro, quer à escala espacial (ao nível da freguesia), comparando as seis redes em análise. Além disso, pretendeu-se também analisar as diferenças entre os métodos de delimitação das áreas de serviço (*straight line* vs distância de rede), avaliando os mesmos indicadores acima enumerados. Na delimitação das áreas de serviço com o método *straight line* foram aplicados os mesmos três limites de distância, sendo a delimitação das áreas de serviço realizada através da ferramenta *buffer*, onde os polígonos resultantes foram posteriormente combinados com os polígonos de *thiessen*, de forma a gerar áreas de serviço mutuamente exclusivas, tal como aplicado nas redes viárias em análise. Na determinação da cobertura espacial dos parâmetros em análise, foi utilizada a mesma metodologia das restantes redes viárias.

## 5.6 Índices de medição da Permeabilidade e da Conectividade

Para efeitos de análise das características das diferentes redes viárias fictícias foram aplicados índices que abordam o fator permeabilidade e conectividade. Para o efeito, foram aplicados o índice de permeabilidade para pedestres e o índice do padrão do sistema viário. Estes dois índices foram aplicados para a rede viária envolvente a uma única estação de metro.

O índice de permeabilidade para pedestres permite analisar a maior ou menor facilidade de deslocamento pedonal em função da rede viária. O objetivo passa por avaliar a facilidade com que os destinos podem ser alcançados, ao nível da distância percorrida, comparando as diferentes redes viárias fictícias em análise. Este índice tem em conta características como a dimensão dos quarteirões, o número de cruzamentos e a conectividade das vias (Allan, 2001 in Amancio 2005).

Para o efeito foi aplicada a fórmula utilizada para o cálculo do índice de permeabilidade em função da distância<sup>17</sup>(Amancio 2005):

$$IDPP = \frac{dd}{dr}$$

Onde:

$IDPP$  = índice de permeabilidade para pedestres em função da distância de viagem

$dd$  = distância direta (em linha recta) entre a origem e o destino

$dr$  = distância real (pelo caminho mais curto) entre a origem e o destino

Este índice varia entre 0 e 1, sendo que, quanto mais próximo for o valor do  $IDPP$  de 1, teoricamente melhor serão as condições para a mobilidade pedestre, uma vez que os destinos podem ser alcançados percorrendo menores distâncias.

Este índice foi aplicado para os limites de distância de análise utilizados na delimitação das áreas de serviço (400, 600 e 800m), sendo estes limites de distância considerados como distância direta. Para cada uma das cinco redes fictícias e para cada limite de distância de análise, foram aplicados oito  $IDPPs$ , correspondentes aos oito

---

<sup>17</sup> Para além do Índice de permeabilidade para pedestres em função da distância de viagem, existe o índice de permeabilidade para pedestres em função do tempo de viagem (ITPP), que utiliza os tempos de percurso em vez da distância percorrida (Amancio, 2005).

pontos de origem analisados, com diferentes posições (correspondentes aos pontos cardeais e colaterais), em relação ao ponto de destino (estação de metro). As distâncias reais, do caminho mais curto entre os pontos de origem e a estação de metro (destino), foram obtidas através da ferramenta *New Route* do *Network Analyst*.

Com o intuito de analisar a conectividade entre os diversos desenhos da rede viária, foi verificado o padrão do sistema viário, analisando o número de intersecções em “cruz”, ou seja, os nós que intersectam com quatro ou mais arcos. O objetivo foi o de avaliar as diferentes redes fictícias no que diz respeito à interligação entre as diferentes vias, avaliando as características das diferentes intersecções que compõe a rede viária.

Para o efeito, é aplicado o índice do padrão do sistema viário (PSV), cuja fórmula é a seguinte (Amancio 2005):

$$PSV = \frac{NITc}{NIT}$$

Onde:

$NITc$  = número de intersecções em “cruz”

$NIT$  = número de intersecções total

Este índice varia entre 0 e 1, sendo que, quanto mais próximo for o valor do PSV de 1, melhor a conectividade teórica da rede viária, uma vez que existe uma maior interligação entre as vias que a compõe, pelo facto de se verificar uma média superior de vias interligadas por intersecção. No entanto, reconhece-se a limitação deste índice, uma vez que não tem em conta a relação entre o número de vias e/ou o número de intersecções.

Este índice foi igualmente aplicado para os limites de distância utilizados na delimitação das áreas de serviço (400, 600 e 800m), sendo consideradas as distâncias reais (distâncias de rede) a partir da estação. A contabilização do número de intersecções foi realizada para a rede viária envolvente de uma estação, sendo contabilizadas as intersecções localizadas no interior das áreas de serviço dos diferentes limites de distância de análise, obtidas no ponto 5.5.

## 5.7 Indicadores de qualidade de acesso e sintético de acessibilidade

De forma a comparar a influência do desenho urbano na acessibilidade pedonal à estação, foram aplicados os indicadores de qualidade de acesso e sintético de acessibilidade, para as seis redes viárias em análise. A aplicação do indicador de qualidade de acesso permite analisar a distribuição e a localização da população nas áreas de serviço, das diferentes estações da rede de Metro. Essa distribuição é refletida no fator proximidade, uma vez que a qualidade de acesso vai diminuindo com o aumento da distância à estação. Este indicador permite analisar a influência da proximidade na qualidade de acesso, que, como já analisado anteriormente, tem um efeito dissuasor no acesso ao serviço de transporte público (ver ponto 2.2 – pág. 11 e ponto 4.1 – pág. 65), uma vez que residir a 200 metros de uma estação de metro, não é igual a residir a uma distância de 1000 metros.

A fórmula aplicada para o cálculo da qualidade de acesso foi a seguinte (García-Palomares 2013):

$$A_Q = \sum_{i=1}^n \frac{R_{max}}{R_i} P_i / \sum_{i=1}^n P_i$$

Onde:

$A_Q$  = indicador de qualidade de acesso

$R_{max}$  = rácio de acessos por habitante no limite de distância mais próximo à estação (100m), calculados através de uma função de *distance decay*

$R_i$  = rácio de acessos por habitante no limite de distância  $i$

$P_i$  = população residente no limite de distância  $i$

Este indicador é baseado na normalização da função de *distance decay*, através da delimitação de uma área de serviço, dentro da qual são definidos diferentes limites de distância de 100 metros, até um total de 1200 metros<sup>18</sup>, para cada estação. Na

---

<sup>18</sup> No trabalho de García-Palomares et al., (2013) os limites de distância de 100m foram aplicados até ao limite de 1500m. No entanto, neste projecto optou-se por aplicar somente até ao limite de 1200m, uma vez que, no trabalho dos autores, o rácio de acessos por habitante ( $R_i$ ), a partir desse limite, era pouco significativo (0,09 para 1300m, 0,05 para 1400m e 0,02 para 1500m)

delimitação dos polígonos foi aplicada uma metodologia distinta da aplicada no ponto 5.5. Para o efeito foi delimitada, para cada limite de 100 metros, uma área de serviço para todas as estações da rede de metro em análise. Posteriormente, os limites das áreas de serviço de cada limite de 100m foram eliminados (através da ferramenta *dissolve*), sendo unidas (através da ferramenta *union*) todas as áreas de serviço resultantes desse processo de eliminação de limites. Por fim, os polígonos correspondentes a cada limite de 100m foram combinados com as microsecções que contêm os dados da população residente, de forma a obter a população residente total para cada um dos limites de 100 metros.

Para cada limite de 100m foram definidos diferentes valores para cada uma das variáveis da equação ( $R_{max}$ ,  $R_i$  e  $P_i$ ). O valor deste indicador varia entre 1 (toda a população está concentrada no primeiro limite de distância) e 0 (toda a população está concentrada nos limites de distância mais afastados da estação, cujo acesso pedonal ao metro é praticamente nulo) (García-Palomares 2013).

Os valores das variáveis  $R_{max}$  e  $R_i$  foram obtidos através do trabalho de García-Palomares et al. (2013), que através de um estudo da *Autoridade de Transportes de Madrid*, do ano 2004, obtiveram os pontos de origem dos percursos pedonais de acesso às estações da rede de metro de Madrid, num total de 17.000 pontos de origem. Este índice utiliza a localização da população, em relação ao ponto de acesso ao transporte, como um *proxy* da qualidade de acesso, e caso esta se encontre maioritariamente concentrada perto de uma estação ou estações, os valores da qualidade de acesso serão maiores do que se estivessem situados nas áreas mais afastadas. O valor de  $R_{max}$ , do primeiro limite de distância (100m) é de 1 (máxima acessibilidade), diminuindo esse valor com o aumento da distância à estação de metro (García-Palomares 2013).

Determinando o valor do indicador de qualidade de acesso para cada uma das redes em análise, é possível determinar o indicador sintético de acessibilidade, através da seguinte fórmula (García-Palomares 2013):

$$SA = A_Q P$$

Onde:

$SA$  = indicador sintético de acessibilidade

$A_Q$  = indicador de qualidade de acesso

$P$  = população total (coberta pela rede de metro) nas áreas de serviço das estações

Este indicador permite analisar o total de população coberta pelo indicador de qualidade de acesso, ou seja, o total de pessoas com determinada qualidade de acesso. Este indicador “mostra o total de pessoas na área de serviço, uma vez que o efeito da distância, medida através das funções de *distance decay*, foi deduzido” (García-Palomares 2013).

## 5.8 Estimação da Procura Potencial

Na determinação da procura potencial foram utilizados os indicadores sintéticos de acessibilidade da população residente e do emprego (neste caso o número de trabalhadores). O objetivo passa por comparar o papel do desenho urbano na estimação da procura potencial, comparando as seis redes em análise. O indicador sintético de acessibilidade, pelo facto de ter em conta a função de *distance decay*, permite uma aproximação mais realista da procura potencial, sendo “a equação que melhor expressa a procura potencial” (García-Palomares 2013). A combinação dos indicadores referentes à população residente e ao número de trabalhadores permitiu estimar a procura potencial da rede das estações de metro do município de Madrid.

Para o efeito foi desenvolvida e aplicada a seguinte fórmula:

$$PPt = SA_P + SA_E$$

Onde:

$PPt$  = Procura potencial total

$SA_P$  = Índice sintético de acessibilidade da população residente

$SA_E$  = Índice sintético de acessibilidade do emprego (sendo utilizado o número de trabalhadores).

Na determinação do índice sintético de acessibilidade do emprego (número de trabalhadores dos pontos de atividade) foi necessário proceder inicialmente, à aplicação do índice de qualidade de acesso, tal como aplicado para a população residente no ponto 5.7, sendo aplicada a mesma metodologia.



## 6. Resultados

### 6.1 Cobertura espacial da rede

#### 6.1.1 Método *straight line* vs. distância de rede

Nesta secção é analisado a diferença na cobertura espacial entre os dois métodos mais comuns de delimitação das áreas de serviço (método *straight line* e distância de rede), com o intuito de analisar a sobrestimação do primeiro método em relação ao segundo. De facto, a escolha do método de delimitação é um fator de grande importância no planeamento do transporte público, uma vez que existem diferenças significativas na cobertura espacial entre os dois métodos.

Nesse sentido, procedeu-se a uma análise da cobertura espacial das 199 estações que se localizam no município de Madrid, visando três grandes aspetos: área (superfície coberta), população (população residente e números de policia cobertos) e emprego (número de trabalhadores e pontos de atividade cobertos), sendo estes analisados de acordo com três diferentes limites de distância de análise (400, 600 e 800 metros). Para além das diferenças, em termos absolutos, entre os dois métodos em análise, são analisadas também as diferenças percentuais na cobertura total do município de Madrid, bem como a magnitude da sobrestimação.

Analisando a tabela 7 (pág.96) é possível verificar que existem diferenças óbvias na cobertura espacial entre os dois métodos de delimitação das áreas de serviço em análise. De facto, constata-se a magnitude da sobrestimação do método *straight line* face ao método de distância de rede, sobretudo ao nível da área e da população coberta. Aqui, verifica-se um claro padrão de diminuição na magnitude da sobrestimação com o aumento do limite de distância de análise. Neste aspeto, verifica-se em todas as colunas da tabela (excepto na percentagem da superfície coberta do total do município) uma diminuição progressiva da sobrestimação com o aumento do limite de distância de análise.

Na superfície coberta verifica-se uma sobrestimação de 44,51% no limite de distância de análise de 400 metros, observando-se diminuição para 38,27% nos 600 metros e para 35,48% nos 800 metros. O facto de, em termos absolutos, se verificar uma maior diferença na sobrestimação (km<sup>2</sup>), deve-se ao facto de serem aplicadas maiores distâncias na delimitação das áreas de serviço. Na população residente coberta, constata-se que na distância de análise de 400 metros, existe uma sobrestimação de 34,74% (624.690 habitantes em termos absolutos) entre os dois métodos em análise,

diminuindo esta significativamente para 20,55% (512.891 habitantes) e para 12,65% (353.911 habitantes), nos limites de distância de análise de 600 e 800 metros, respectivamente. No que diz respeito ao total de números de polícia cobertos, a magnitude da sobrestimação é praticamente igual à observada na população residente coberta, embora com óbvias diferenças em termos absolutos. O mesmo é verificável na análise das percentagens do total do município, onde as diferenças são bastante similares. No que diz respeito ao emprego, a tendência é similar à verificada na população, observando-se que no limite de distância de 400 metros, a sobrestimação no número de trabalhadores cobertos é de 28,13% (225.772 trabalhadores), diminuindo para 18,27% (190.013 trabalhadores) e 12,13% (137.736 trabalhadores). As diferenças em relação aos pontos de atividade são igualmente similares em termos percentuais.

No que diz respeito à tabela 8 (pág.97), referente aos valores estatísticos ao nível da estação para o conjunto das estações da rede de metro, observa-se que, quer para a população quer para o emprego, a média, o máximo e o desvio-padrão, para ambos os métodos, aumentam com o incremento do limite de distância de análise. No entanto, as médias da sobrestimação vão diminuindo com o aumento do limite de distância, para ambos os parâmetros em análise. Isto demonstra que, com o aumento do limite de distância de análise, as diferenças na sobrestimação, entre os dois métodos de delimitação, vão se esbatendo gradualmente. No entanto, o valor do desvio-padrão, nas diferentes distâncias, mantém-se relativamente constante, mostrando a existência de uma grande dispersão dos valores, dispersão essa evidenciada pela enorme discrepância entre os máximos e mínimos nas percentagens de sobrestimação. Aqui é de realçar o valor mínimo de 0 na percentagem de sobrestimação da população coberta. Este valor reflete o facto de, em ambos os métodos, existirem estações com áreas de cobertura que não estão inseridas em áreas de uso do solo residencial ou, por outro lado, ambas as áreas de serviço possuem uma cobertura total da população residente.

Esta tendência de diminuição da sobrestimação na área coberta, com o aumento do limite de distância de análise, reflete-se na diminuição da sobrestimação da procura potencial (população e emprego), e é explicada pelo facto de haver uma maior sobreposição nas áreas de serviço do método *straight line*, em comparação com o método de distância de rede. Isto deve-se ao facto de o primeiro método gerar áreas de serviço de maior dimensão, o que faz com que a sobrestimação seja “minimizada” com o aumento dos limites de distância de análise. Com limites de distância de análise reduzidos, a sobreposição entre áreas de serviço tende a ser reduzida, sobretudo quando

a proximidade/densidade de estações é diminuta, incrementando a sobrestimação do método *straight line* face ao método de distância de rede.

Relativamente à cobertura espacial da população e do emprego, a diminuição da sobrestimação com o aumento da distância de análise, para além do fator sobreposição das áreas de serviço, deve-se ao facto de as maiores densidades de população e de emprego se concentrarem nas freguesias centrais do município de Madrid, onde existe uma maior densidade de estações. Nesse sentido, analisando as figuras 24, 25 e 26 (pág. 98 a 100) verifica-se que o grau de sobrestimação dos três parâmetros em análise (superfície coberta, população residente e número de trabalhadores cobertos), para as três distâncias de análise, nas áreas de serviço centrais é praticamente nulo ou bastante reduzido, uma vez que, havendo uma maior densidade de estações, existe uma grande proximidade e competitividade entre elas. Nas figuras 24, 25 e 26 constata-se claramente, que as estações localizadas na área central possuem uma cobertura espacial praticamente total, uma vez que as áreas não abrangidas são quase inexistentes, fazendo com que a sobrestimação entre ambos os métodos de delimitação seja praticamente nula. Essa tendência vai se acentuando com o aumento do limite de distância de análise, uma vez que o número de áreas de serviço, de ambos os métodos, com cobertura total aumenta, verificando-se um aumento do número de áreas de serviço com uma sobrestimação de 0%. Por outro lado, nas áreas de serviço das estações mais periféricas da rede, onde existe uma menor densidade de estações, verifica-se uma maior magnitude de sobrestimação do método *straight line* face ao método de distância de rede, uma vez que a competitividade entre estações é mais reduzida. Nestas áreas verifica-se que a magnitude da sobrestimação, entre os dois métodos de delimitação, mantem-se relativamente constante com o aumento do limite de distância de análise.

Por outro lado, também é de realçar o papel do desenho urbano (ver figura 18) na magnitude da sobrestimação entre os dois métodos, uma vez que a maior densidade e compacidade da rede viária nas freguesias centrais (fortemente marcada pelo traçado irregular de alta densidade e pelo traçado ortogonal) faz com que as diferenças entre os dois métodos sejam menores, uma vez que geram áreas de cobertura de maior dimensão, diminuindo as diferenças entre os dois métodos de delimitação. O facto de haver uma menor densidade viária nas freguesias periféricas (caracterizado pelo traçado irregular de baixa densidade) faz com que a magnitude da sobrestimação seja maior nas estações situadas na periferia da rede de metro do município, uma vez que a dimensão das áreas de serviço gerada, é substancialmente inferior, verificando-se alguns casos

cuja área interior é bastante diminuta. Esse facto, faz com que as diferenças na dimensão entre as áreas de serviço dos dois métodos de delimitação sejam bastante acentuadas, verificando-se um aumento na magnitude da sobrestimação.

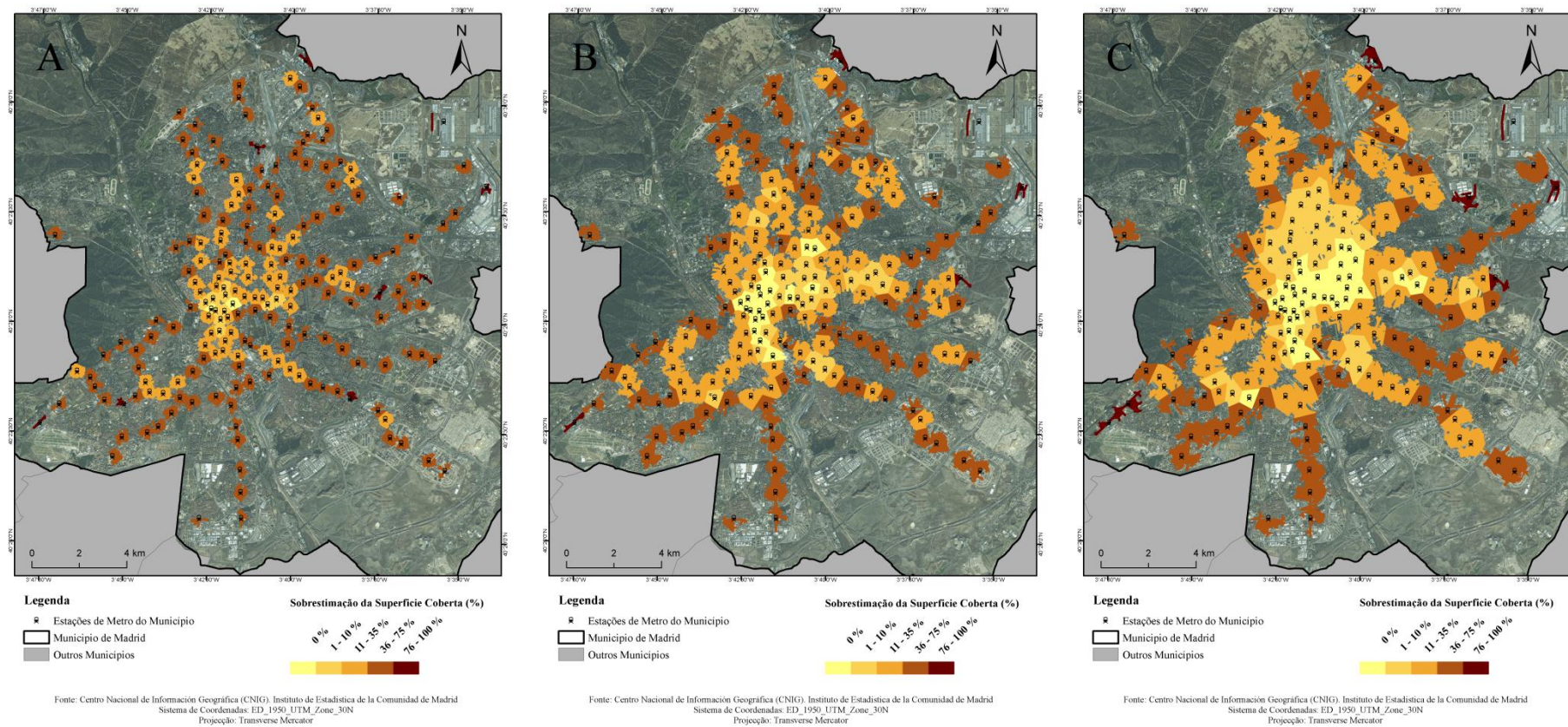
Limite de distância de análise	Método	Área		População				Emprego			
		Superfície coberta (km <sup>2</sup> )	% <sup>19</sup>	População residente	%	Total de números de polícia	%	Número de trabalhadores	%	Pontos de atividade	%
400 metros	<i>Straight line</i>	83,56	13,82	1.798.279	57,12	81.950	49,99	802.741	62,31	37.209	66,33
	Distância de rede	46,37	7,67	1.173.589	37,28	53.900	32,88	576.969	44,79	27.503	49,03
≠		37,19 (44,51%)	6,15	624.690 (34,74%)	19,84	28.050 (34,23%)	17,11	225.772 (28,13%)	17,53	9.706 (26,09%)	17,3
600 metros	<i>Straight line</i>	135,39	22,4	2.496.431	79,3	118.328	72,18	1.040.304	80,76	47.192	84,13
	Distância de rede	83,57	13,83	1.983.540	63	93.468	57,02	850.291	66	40.229	71,72
≠		51,82 (38,27%)	8,57	512.891 (20,54%)	16,29	24.860 (21,01%)	15,16	190.013 (18,27%)	14,76	6.963 (14,75)	12,41
800 metros	<i>Straight line</i>	175,3	29	2.797.387	88,85	134.205	81,87	1.135.609	88,16	50.602	90,21
	Distância de rede	113,1	18,71	2.443.476	77,61	116.818	71,26	997.873	77,46	46.174	82,31
≠		62,2 (35,48%)	10,29	353.911 (12,65%)	11,24	17.387 (12,96%)	10,61	137.736 (12,13%)	10,69	4.428 (8,75%)	7,89

**Tabela 7** - Diferenças entre os métodos de delimitação na cobertura espacial para o conjunto das estações da rede de metro.

<sup>19</sup> Do total do município de Madrid

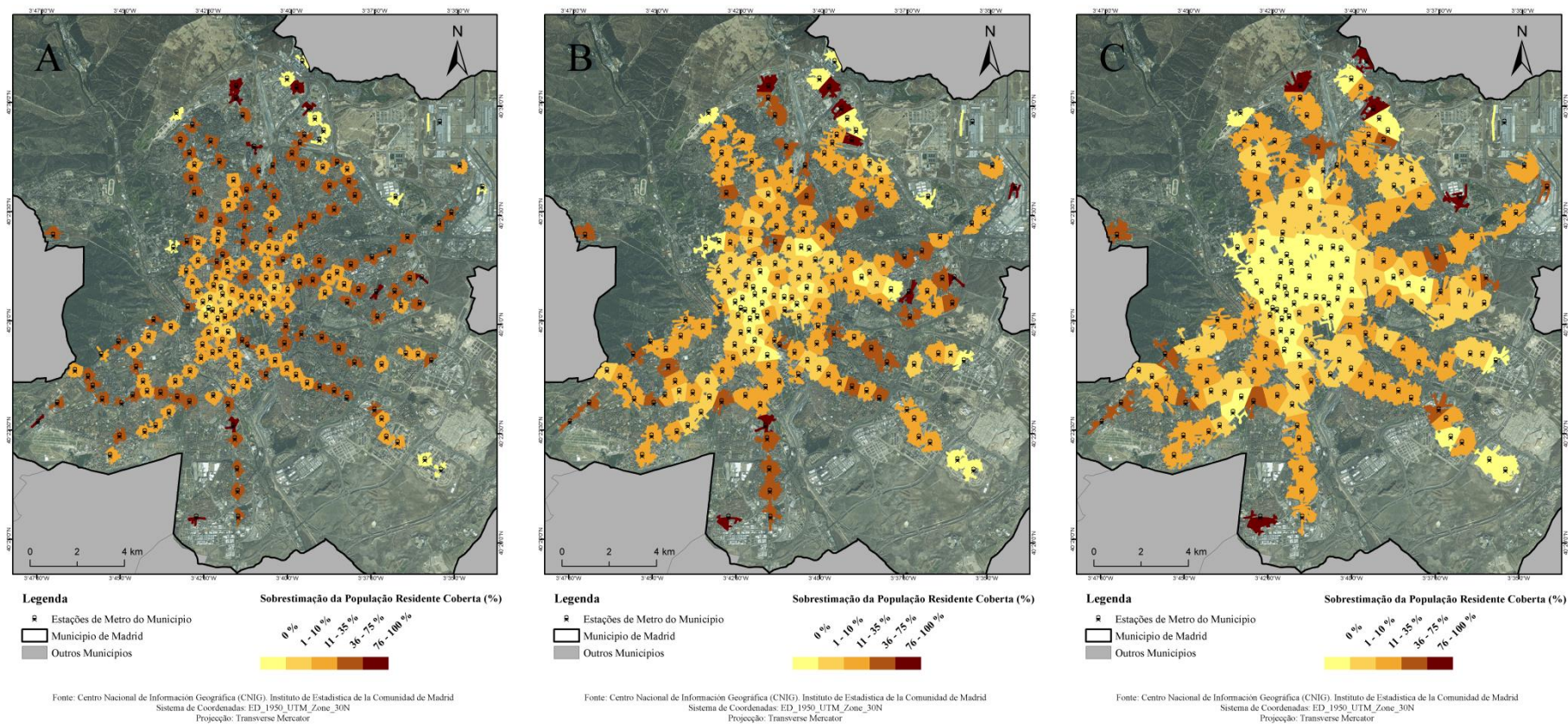
Limite de distância de análise	Método	População residente				Emprego (nº de trabalhadores)			
		Média	Desvio Padrão	Máxima	Mínima	Média	Desvio Padrão	Máxima	Mínima
400 metros	<i>Straight line</i>	9036,58	5279,77	20637	0	4066,39	4045,96	25403	24
	Distância de rede	5897,43	4046,86	17672	0	2928,78	3100,17	13649	6
	Sobrestimação %	35,71	22,25	100	0	34,78	23,41	97,5	0
600 metros	<i>Straight line</i>	12544,88	7352,43	31659	0	5251,30	4703,24	31173	48
	Distância de rede	9967,53	6257,58	24566	0	4294,4	4233,99	23405	24
	Sobrestimação %	21,16	22,5	100	0	23,56	22,81	97,45	0
800 metros	<i>Straight line</i>	14057,22	8631,82	41441	0	5732,64	4801,13	31173	48
	Distância de rede	12278,78	7548,84	33306	0	5039,76	4595,95	26889	24
	Sobrestimação %	12,87	19,21	100	0	16,13	20,21	97,45	0

**Tabela 8** - Estatísticas básicas da cobertura espacial (população e emprego), de acordo com o método de delimitação, para o conjunto das estações da rede de metro.

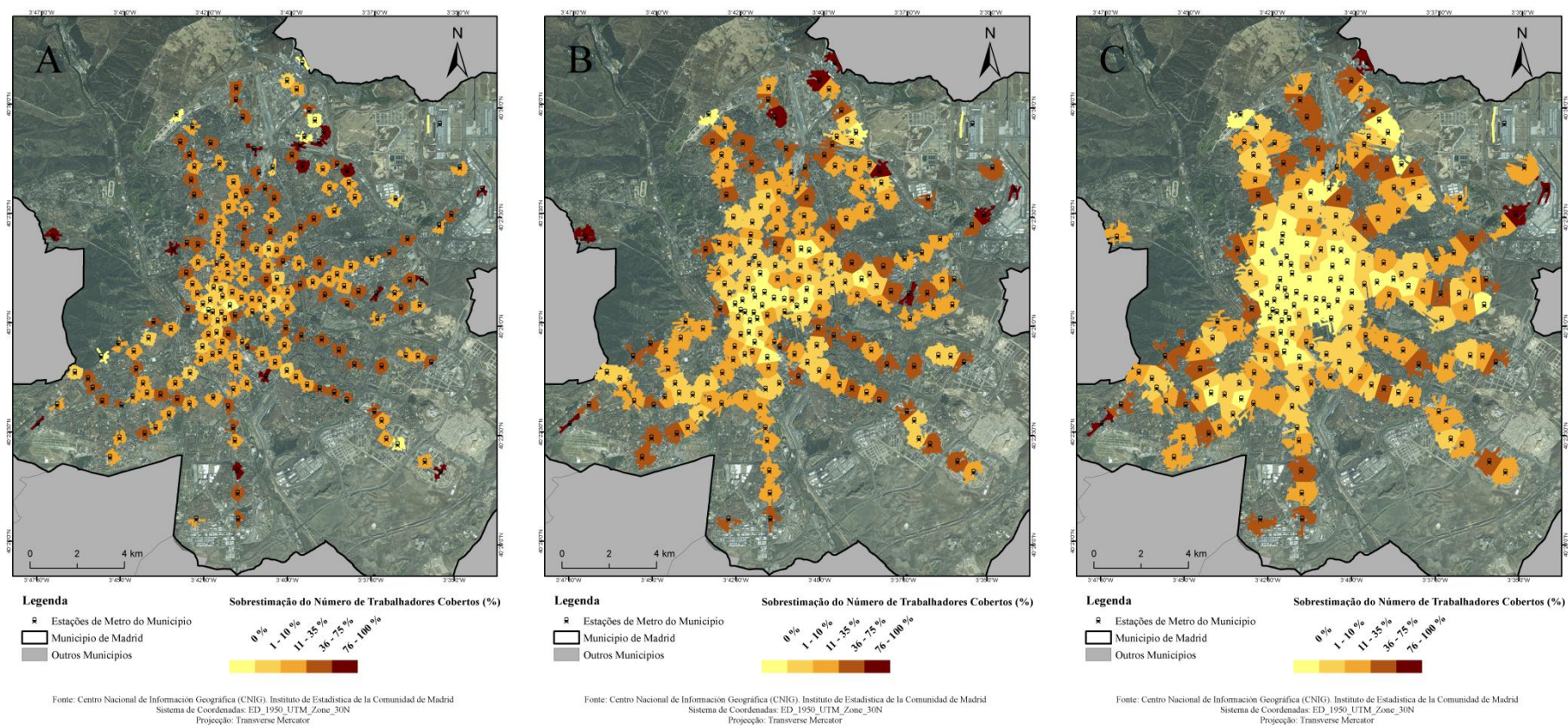


**Figura 24** - Percentagem de sobrestimação, da superfície coberta da área de serviço da estação de metro, do método straight line face ao método de distância de rede: limite de distância de análise de 400 metros (A), 600 metros (B) e 800 metros (C).





**Figura 25** - Percentagem de sobrestimação, da população residente da área de serviço da estação, do método straight line face ao método de distância de rede: limite de distância de análise de 400 metros (A), 600 metros (B) e 800 metros (C).



**Figura 26** - Percentagem de sobrestimação, do número de trabalhadores da área de serviço da estação, do método straight line face ao método de distância de rede: limite de distância de análise de 400 metros (A), 600 metros (B) e 800 metros (C).



### 6.1.2 Influência do desenho urbano

Tendo definidos e distribuídos os diferentes desenhos viários pelas 199 estações de metro (ver ponto 5.4 – pág.80) procede-se à análise da cobertura espacial de acordo com o tipo de rede viária fictícia criada. Como já anteriormente referido, para cada uma das redes em análise, foi aplicada a mesma envolvente para todas as estações, de forma a analisar de forma concreta o papel do desenho urbano, na cobertura espacial.

Tal como no ponto anterior, são aplicados três limites de distância de análise (400, 600 e 800 metros) para cada uma das redes, analisando as diferenças de cobertura ao nível da área (superfície coberta), população (população residente e número de polícia cobertos) e emprego (número de trabalhadores e pontos de atividade cobertos). Neste ponto pretende-se analisar a cobertura espacial para o conjunto de todas as estações de metro, quer em termos de cobertura absoluta e relativa para todas as redes, quer verificando as estatísticas básicas ao nível da estação para o conjunto da rede, destacando ainda as diferenças espaciais, ao nível da freguesia, entre as diferentes redes em análise. Além disso, é ainda comparada a cobertura espacial das diferentes redes fictícias com a rede atual do município de Madrid.

Analisando a tabela 9 (pág.104) é possível verificar que, para o limite de distância de análise de 400 metros, das cinco redes fictícias em análise, apenas a rede irregular de baixa densidade apresenta índices de cobertura inferiores à rede atual do município de Madrid, nomeadamente na superfície coberta (menos 14,75% correspondente a 5,96 km<sup>2</sup>), na população residente (menos 30,72% correspondente a 275.795 habitantes) e no número de trabalhadores cobertos (23,09% correspondente a 108.231 trabalhadores). As restantes redes viárias apresentam variações positivas em todos os parâmetros em análise. No entanto, a rede orientada à estação destaca-se das demais, com uma variação positiva muito significativa em todos os parâmetros, com especial destaque para a superfície coberta (35,08% correspondentes a 25,06km<sup>2</sup>) e para a população residente (25,11% correspondente a 393.458 habitantes). A rede ortogonal (150mx100m) também apresenta uma variação positiva significativa, embora num menor grau em comparação com a rede orientada à estação. A rede irregular de alta densidade e a ortogonal (75mx50m) apresentam uma variação positiva bastante similar.

No que diz respeito ao limite de distância de 600 metros, verifica-se a mesma tendência do limite de distância de análise anterior. A rede orientada à estação continua a ser aquela com uma melhor cobertura espacial, em todos os parâmetros entre as redes

analisadas, embora se verifique uma diminuição relativamente significativa nas diferenças percentuais face à rede atual do município, no que é respeitante às percentagens observadas no limite de distância de 400 metros. A rede irregular de alta densidade e ambas as redes ortogonais apresentam uma variação positiva face à rede atual do município bastante similar com a verificada no limite de distância de análise de 400 metros, apresentando níveis de cobertura relativamente similares em todos os parâmetros em análise. Por sua vez, a rede irregular de baixa densidade mantém uma variação negativa (embora numa magnitude inferior à verificada no primeiro limite de análise) em todos os parâmetros, excepto na área de cobertura, onde são praticamente similares (variação positiva de 0,7% correspondendo a 0,14km<sup>2</sup>).

Analisando os resultados do limite de distância de análise de 800 metros constata-se que a rede orientada à estação continua a ser aquela que apresenta melhor cobertura espacial em todos os parâmetros em análise, mantendo uma variação positiva face à rede atual do município. Aqui é de destacar o facto de haver uma maior variação na cobertura da superfície (32,52%) face ao verificado no limite de análise anterior (26,53%), sendo que os restantes parâmetros mantêm uma variação similar. Mais uma vez a rede irregular de alta densidade e as duas redes ortogonais apresentam níveis de cobertura similares, seja em termos absolutos seja em termos de variação percentual com a rede atual do município. Por fim, a rede irregular de baixa densidade apresenta uma variação positiva na superfície coberta de 14,03% (18,45km<sup>2</sup>), no número de trabalhadores (2,70% correspondente a 27.719 trabalhadores) e nos pontos de atividade cobertos (0,64% correspondente a 296 pontos de atividade).

Para uma perceção mais detalhada e intuitiva das diferenças entre as diferentes redes fictícias e a rede atual do município de Madrid, as figuras 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 e 35 (pág.107 a 115), representam as diferenças espaciais ao nível da freguesia. Aqui é possível verificar, as discrepâncias entre a rede irregular de baixa densidade e as restantes redes, sendo a única rede que possui freguesias com variação negativa, face à rede atual do município, em todos os parâmetros e para todos os limites de distância de análise. Por outro lado, destaca-se a rede orientada à estação como a rede com uma maior variação positiva face à rede atual do município. No entanto, é ainda possível destacar que, para todos os parâmetros e para todos os limites de distância de análise, as freguesias mais periféricas são aquelas que, regra geral, possuem maiores percentagens de variação face à rede atual do município, demonstrando mais uma vez, a importância das características do desenho urbano. De facto, sendo a rede viária atual nas freguesias

periféricas fortemente marcadas pelo traçado irregular de baixa densidade, faz com que as diferenças entre as redes viárias fictícias sejam maiores, uma vez que geram áreas de cobertura de menor dimensão, aumentando as diferenças para as redes viárias fictícias em análise.

Nos anexos 5,6,7,8 e 9 é possível encontrar informação mais detalhada relativa à cobertura espacial das diferentes redes viárias fictícias, por freguesia, para os diferentes parâmetros em análise, sendo os anexos 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 a representação cartográfica dessa mesma informação.

Analisando a tabela 10 (pág.106), relativa aos valores estatísticos ao nível da estação para o conjunto das estações da rede de metro, constata-se que as médias e as máximas da população residente e do emprego, por estação, vão, naturalmente, aumentando à medida que o limite de distância de análise também aumenta. Relativamente às mínimas correspondentes à população residente, o valor 0 deve-se ao facto de se verificarem nove estações cujas áreas de serviço não coincidem com o uso do solo residencial. Nesse aspeto, verifica-se uma enorme discrepância entre os valores extremos (mínimas e máximas), traduzindo-se em valores de desvio padrão elevados, quer para a população residente quer para o emprego, que vão aumentando com o incremento do limite de distância de análise.

De uma forma geral verifica-se que as redes irregular de alta densidade, ortogonal (75mx50m), ortogonal (150mx100m) e, particularmente a rede orientada à estação, são aquelas que apresentam maiores níveis de cobertura espacial para todos os parâmetros em análise, independentemente do limite de distância utilizado. Por outro lado, a rede irregular de baixa densidade é aquela que apresenta os níveis consideravelmente mais baixos.

Por outro lado, não foi possível verificar o papel negativo da dimensão dos quarteirões na acessibilidade ao transporte público, uma vez que nos resultados obtidos a rede ortogonal (75mx50m) obteve valores inferiores em todos os parâmetros e em todos os limites de distância de análise, em comparação com a rede ortogonal (150mx100m), embora as diferenças não sejam particularmente significativas. Nesse sentido, os resultados obtidos não são coincidentes com o defendido pela maioria dos autores que defendem que os desenhos urbanos com quarteirões de menor dimensão são aqueles que permitem um melhor acesso ao transporte público (ver ponto 2.4.1.3 – pág.22).

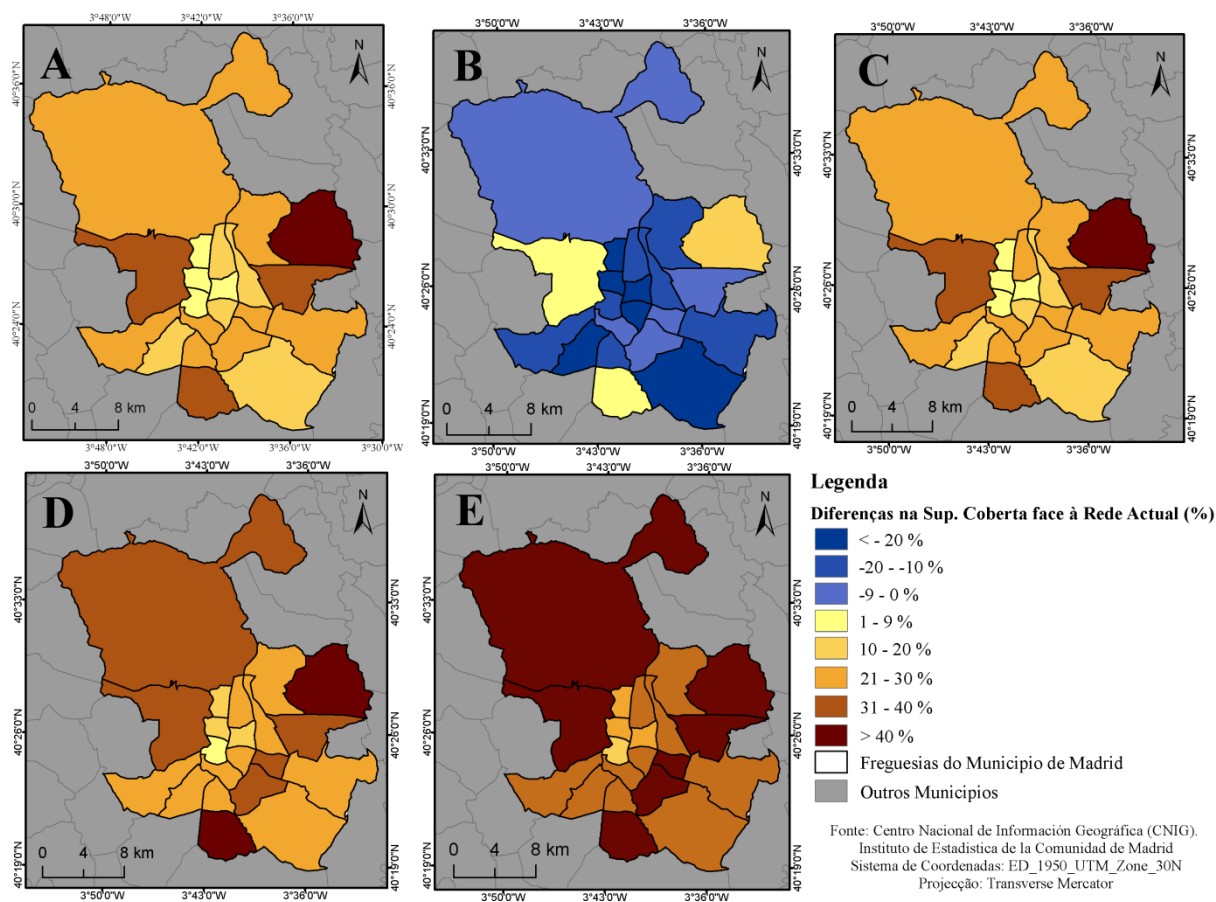
Limite de distância de análise	Rede viária	Área	População		Emprego	
		Superfície coberta (km2)	População residente	Total de números de polícia	Número de trabalhadores	Pontos de atividade
400 metros	Irregular de alta densidade	58,35	1.307.042	58.395	620.413	28.933
	≠ (Rede viária atual)	11,98	133453	4495	43444	1430
		20,53%	10,21%	7,70%	7,00%	4,94%
	Irregular de baixa densidade	40,41	897.794	40.061	468.738	21.426
	≠ (Rede viária atual)	-5,96	-275795	-13839	-108231	-6077
		-14,75%	-30,72%	-34,54%	-23,09%	-28,36%
	Ortogonal (75x50m)	58,49	1.302.937	58.446	615.474	28.817
	≠ (Rede viária atual)	12,12	129.348	4.546	38.505	1.314
		20,72%	9,93%	7,78%	6,26%	4,56%
	Ortogonal (150x100m)	62,76	1.388.384	62.566	649.963	30.376
	≠ (Rede viária atual)	16,39	214.795	8.666	72.994	2.873
		26,12%	15,47%	13,85%	11,23%	9,46%
600 metros	Orientada à estação	71,43	1.567.047	70.833	726.866	33.653
	≠ (Rede viária atual)	25,06	393.458	16.933	149.897	6.150
		35,08%	25,11%	23,91%	20,62%	18,27%
	Irregular de alta densidade	105,83	2.153.733	100.289	930.680	42.729
	≠ (Rede viária atual)	22,26	170.193	6.821	80.389	2.500
		21,03%	7,90%	6,80%	8,64%	5,85%
	Irregular de baixa densidade	83,71	1.731.052	80.219	789.911	36.118
	≠ (Rede viária atual)	0,14	-252.488	-13.249	-60.380	-4.111
		0,17%	-14,59%	-16,52%	-7,64%	-11,38%
	Ortogonal (75x50m)	105,46	2.141.160	99.254	910.559	42.181
	≠ (Rede viária atual)	21,89	157.620	5.786	60.268	1.952
		20,76%	7,36%	5,83%	6,62%	4,63%
800 metros	Ortogonal (150x100m)	107,92	2.174.369	100.857	921.141	42.553
	≠ (Rede viária atual)	24,35	190.829	7.389	70.850	2.324
		22,56%	8,78%	7,33%	7,69%	5,46%
	Orientada à estação	113,74	2.253.308	105.396	953.958	43.849
	≠ (Rede viária atual)	30,17	269.768	11.928	103.667	3.620
		26,53%	11,97%	11,32%	10,87%	8,26%
	Irregular de alta densidade	145,93	2.594.251	123.675	1.070.016	48.236
	≠ (Rede viária atual)	32,83	150.775	6.857	72.143	2.062
		22,50%	5,81%	5,54%	6,74%	4,27%
	Irregular de baixa	131,55	2.433.547	115.495	1.025.592	46.470

	densidade					
	≠ (Rede viária atual	18,45	-9.929	-1.323	27.719	296
		14,03%	-0,41%	-1,15%	2,70%	0,64%
	Ortogonal (75x50m)	143,47	2.556.188	121.765	1.059.852	47.811
	≠ (Rede viária atual	30,37	112.712	4.947	61.979	1.637
		21,17%	4,41%	4,06%	5,85%	3,42%
	Ortogonal (150x100m)	147,78	2.574.992	122.868	1.062.941	47.979
	≠ (Rede viária atual	34,68	131.516	6.050	65.068	1.805
		23,47%	5,11%	4,92%	6,12%	3,76%
	Orientada à estação	167,61	2.763.568	132.305	1.123.513	50.143
	≠ (Rede viária atual	54,51	320.092	15.487	125.640	3.969
		32,52%	11,58%	11,71%	11,18%	7,92%

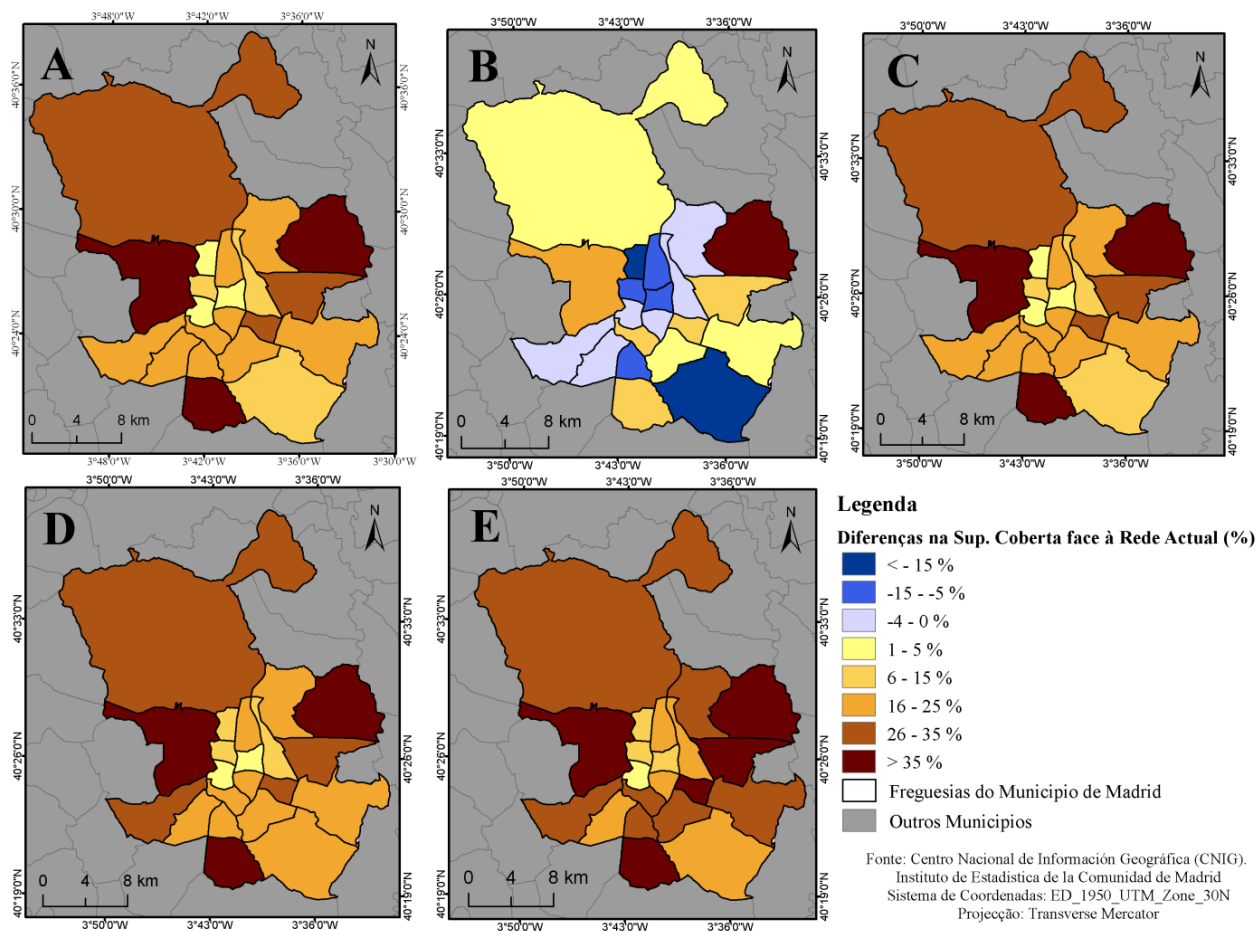
**Tabela 9** - Diferenças entre os desenhos da rede viária na cobertura espacial para o conjunto das estações da rede de metro.

Limite de distância de análise	Rede viária	População residente				Emprego (nº de trabalhadores)			
		Média	Desvio Padrão	Máxima	Mínima	Média	Desvio Padrão	Máxima	Mínima
400 metros	Irregular de alta densidade	6.568,05	3.987,19	18.464	0	3.117,65	3.276,2	21.352	24
	Irregular de baixa densidade	4.511,53	2.849,36	13.391	0	2.355,47	2.490,10	10.910	6
	Ortogonal (75x50m)	6.547,42	3.987,67	17.782	0	3.092,83	3.124,28	15.103	12
	Ortogonal (150x100m)	6.976,8	4.205,58	18.223	0	3.266,15	3.265,42	15.777	12
	Orientada à estação	7.874,61	4.643,84	18.818	0	3.652,59	3.715,98	23.745	24
600 metros	Irregular de alta densidade	10.822,77	6.315,94	25.328	0	4.676,78	4.514,37	29.716	30
	Irregular de baixa densidade	8.698,75	5.035,28	20.185	0	3.969,40	4.030,13	26.885	18
	Ortogonal (75x50m)	10.759,6	6.236,33	24.841	0	4.575,67	4.395,01	29.241	30
	Ortogonal (150x100m)	10.926,47	6.332,83	25.755	0	4.628,85	4.426,9	29.520	48
	Orientada à estação	11.323,16	6.521,95	26.161	0	4.793,76	4.545,03	29.801	30
800 metros	Irregular de alta densidade	13.036,44	7.726,53	34.720	0	5.376,97	4.718,58	31.173	48
	Irregular de baixa densidade	12.228,88	7.101,71	32.221	0	5.153,73	4.631,68	30.874	48
	Ortogonal (75x50m)	12.845,17	7.575,56	34.494	0	5.325,89	4.716,30	31.173	48
	Ortogonal (150x100m)	12.939,66	7.653,23	34.939	0	5.341,41	4.716,99	31.173	48
	Orientada à estação	13.887,28	8.482,96	40.894	0	5.645,79	4.799,6	31.173	48

**Tabela 10** - Estatísticas básicas da cobertura espacial (população e emprego), de acordo com o desenho da rede viária, para o conjunto das estações da rede de metro.

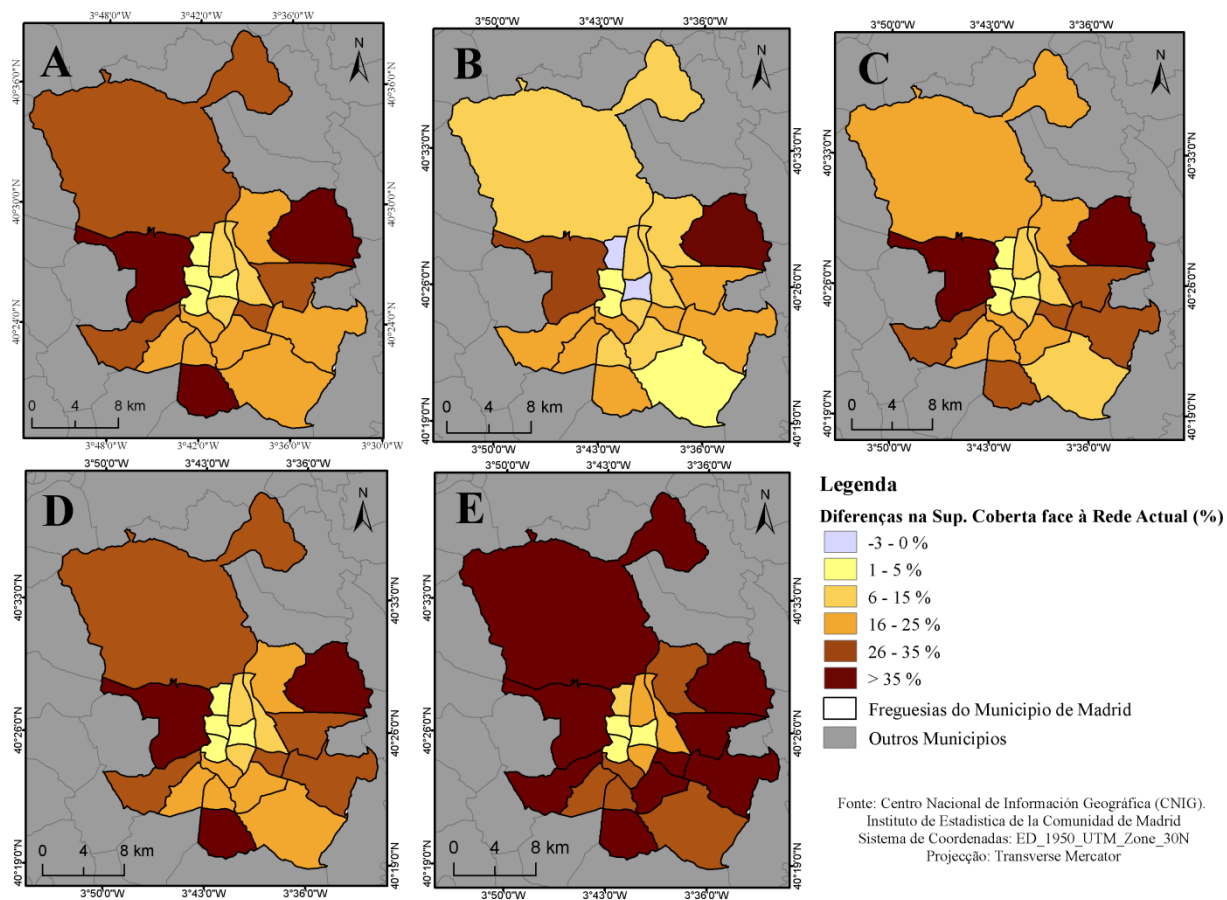


**Figura 27** - Diferenças percentuais na superfície coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede atual do município, para o limite de distância de análise de 400 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).

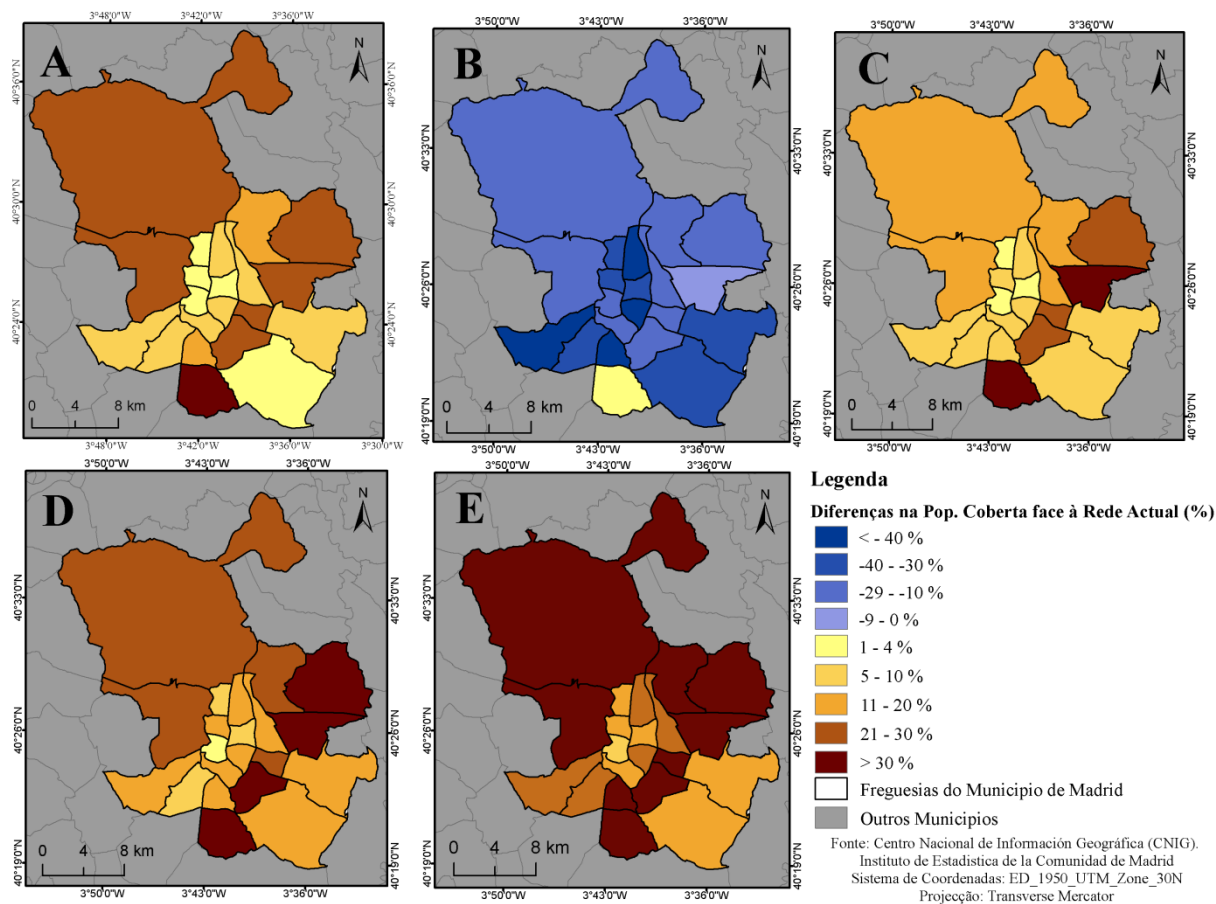


**Figura 28** - Diferenças percentuais na superfície coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 600 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).

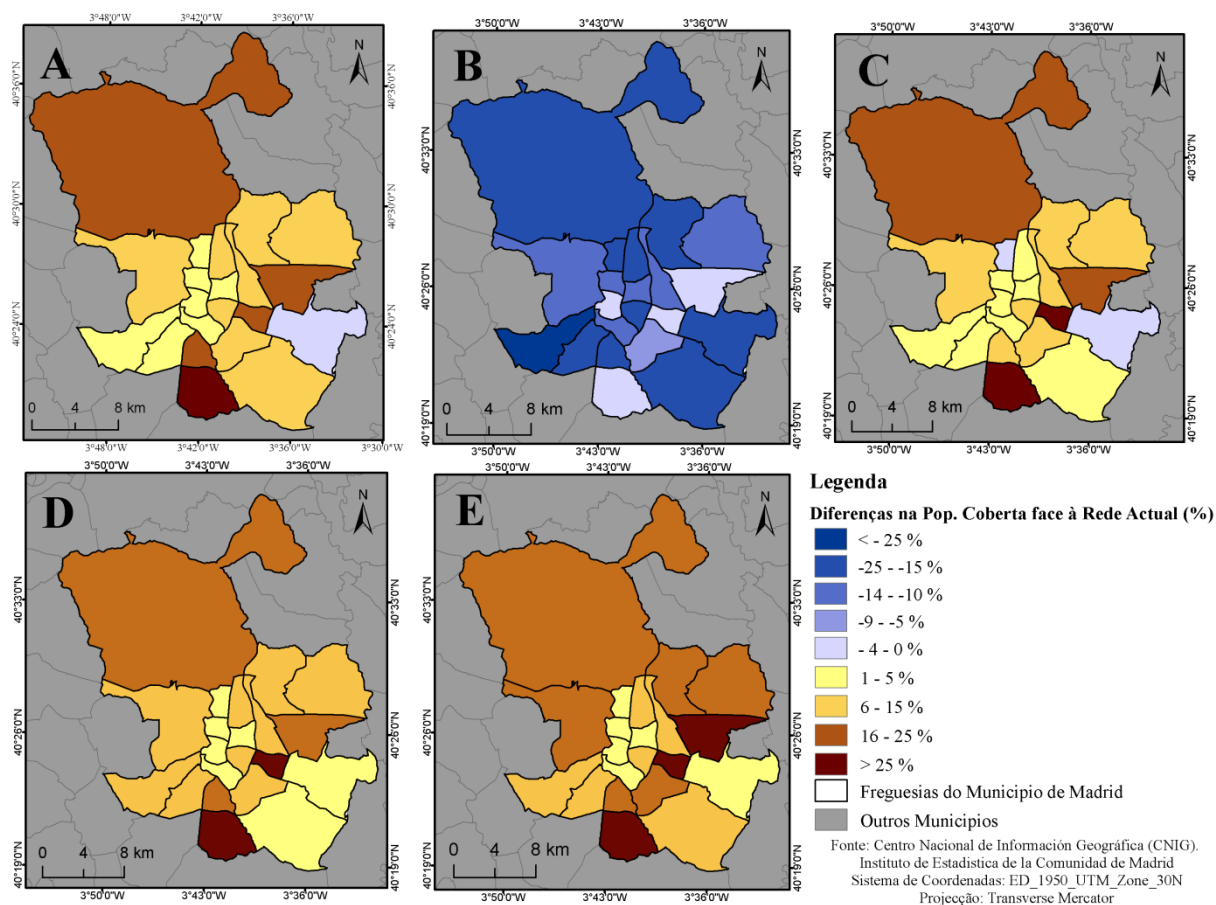




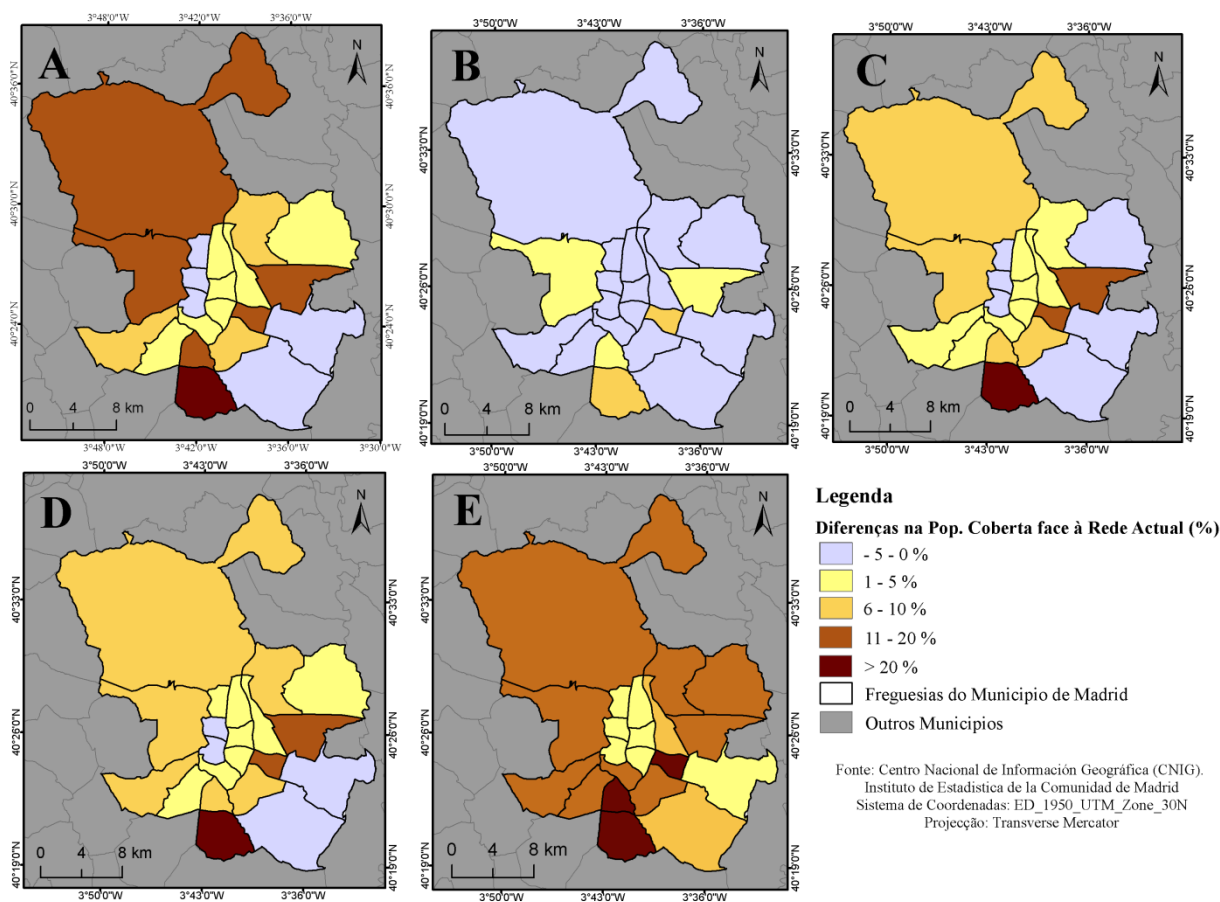
**Figura 29** - Diferenças percentuais na superfície coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede actual do município, para o limite de distância de análise de 800 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



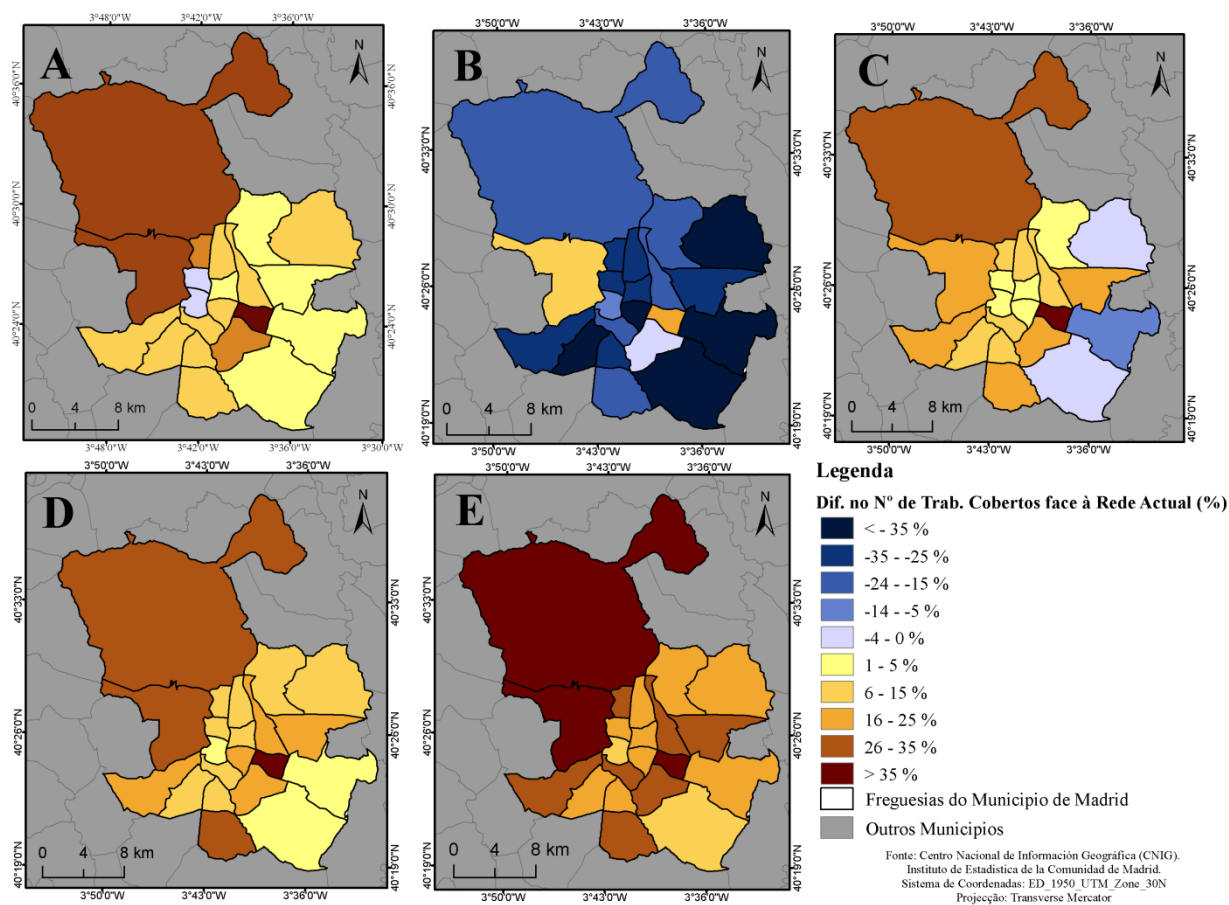
**Figura 30** - Diferenças percentuais na população residente coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede atual do município, para o limite de distância de análise de 400 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada (E).



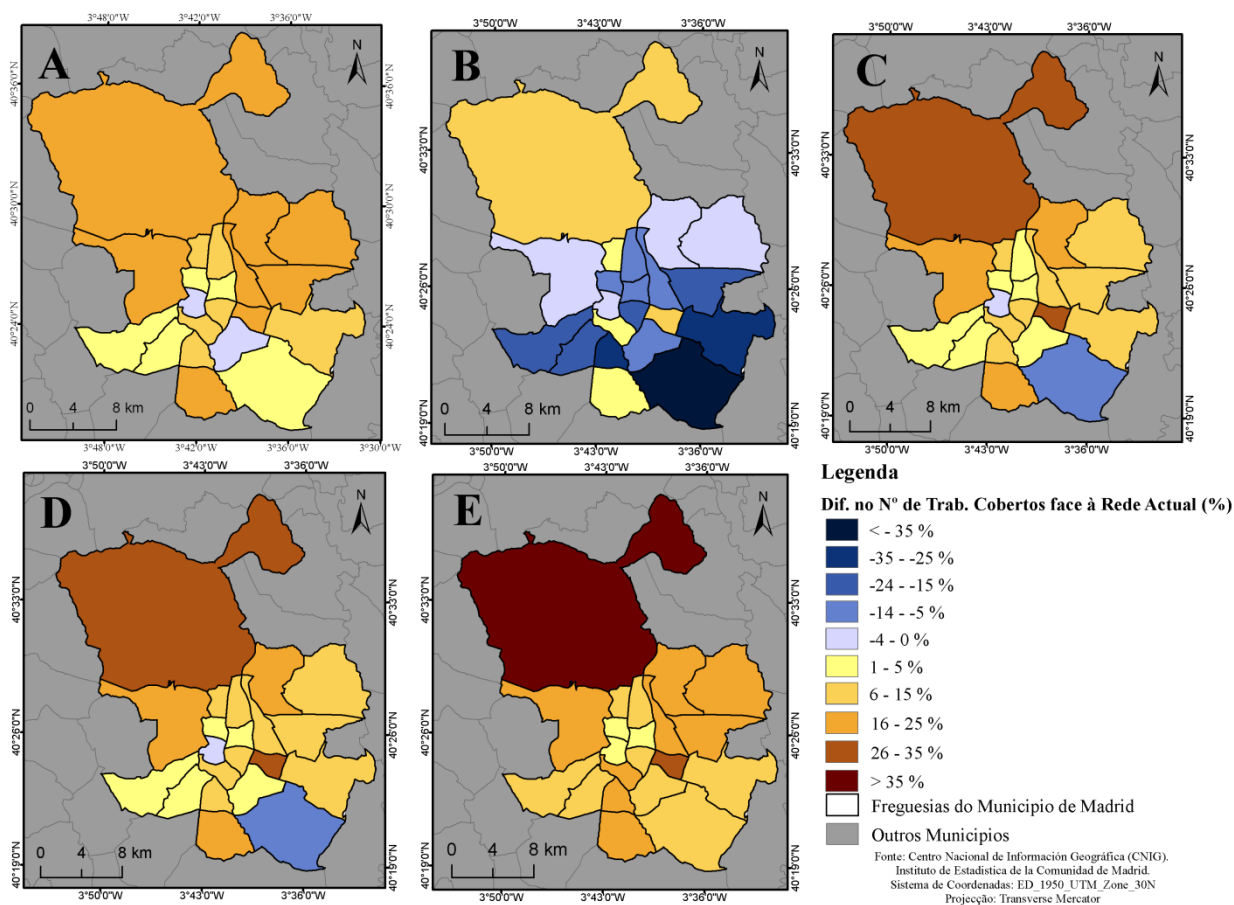
**Figura 31** - Diferenças percentuais na população residente coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede atual do município, para o limite de distância de análise de 600 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



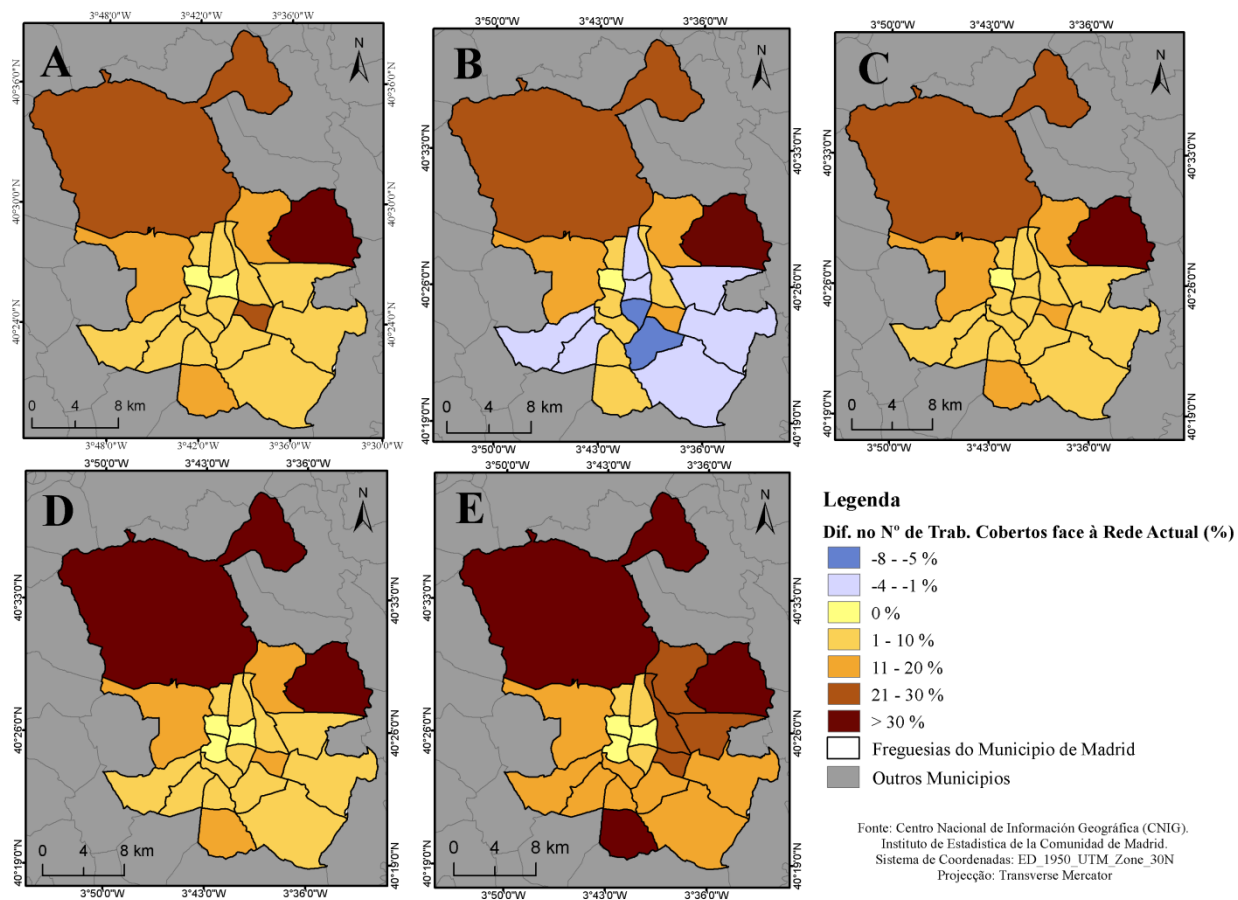
**Figura 32** - Diferenças percentuais na população residente coberta, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede atual do município, para o limite de distância de análise de 800 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



**Figura 33** - Diferenças percentuais no número de trabalhadores cobertos, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede atual do município, para o limite de distância de análise de 400 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



**Figura 34** - Diferenças percentuais no número de trabalhadores cobertos, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede atual do município, para o limite de distância de análise de 600 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



**Figura 35** - Diferenças percentuais no número de trabalhadores cobertos, por freguesia do município de Madrid, em relação à rede atual do município, para o limite de distância de análise de 800 metros. Rede Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).

## 6.2 Índice de permeabilidade para pedestres

Neste presente capítulo procura-se analisar o potencial de cada um dos desenhos viários ao nível da permeabilidade, procurando uma possível relação com os resultados obtidos no ponto anterior. A aplicação do índice de permeabilidade de pedestres permite descortinar a “facilidade” da mobilidade pedestre na rede viária, de acordo com o tipo de desenho. Tal como referido anteriormente, serão analisados oito diferentes pontos de origem em relação à estação, para cada uma das redes em análise.

Tendo em conta os resultados obtidos no ponto anterior, sobretudo no que diz respeito à superfície total coberta, parte-se do pressuposto que a rede orientada à estação é aquela que apresenta um índice de permeabilidade para pedestres mais elevado, e pelo contrário, a rede irregular de baixa densidade o mais baixo. Neste índice, e para efeitos de comparação entre resultados, serão utilizadas as mesmas distâncias de análise do ponto anterior.

Assim, analisando a tabela 11 (pág.118), correspondente ao IDPP para a distância direta de 400 metros, é possível observar que as duas redes ortogonais são aquelas que apresentam um IDPP médio superior (0,85), com uma distância real média de 485,27 metros. A rede orientada à estação, que no ponto anterior tinha obtido os melhores resultados em todos os parâmetros em análise, para todos os limites de distância de análise, obteve um IDPP médio 0,82, com uma distância real média ligeiramente superior à obtida nas duas redes ortogonais (494,87 metros). A rede irregular de alta densidade, que no ponto anterior, para a mesma distância de análise, tinha obtido resultados muito semelhantes com a rede ortogonal (75mx50m), obteve um IDPP médio de 0,8, com uma distância real média ligeiramente acima dos 500 metros (507,13 metros). Sem surpresa, a rede irregular de baixa densidade foi aquela que obteve o pior IDPP médio (0,69), com uma distância real média de 612,16 metros, ou seja, com mais de 100 metros de diferença em comparação com as restantes redes em análise.

No que diz respeito à distância direta de 600 metros, analisando a tabela 12 (pág.119) observa-se que a rede orientada à estação é aquela que obtém um melhor IDPP médio (0,87), com uma diferença positiva de 0,5 em relação à distância direta de 400 metros, com uma distância real média de 695,02 metros. De seguida, e com uma diferença de apenas 0,1, seguem-se as duas redes ortogonais com um IDPP de 0,86, embora se registre uma pequena diferença na distância real média, com a rede ortogonal



(75mx50m) a apresentar uma distância ligeiramente superior (719,84 metros) em relação à rede ortogonal (150mx100m) (713,59 metros). Tal como na distância direta anterior, a rede irregular de alta densidade é segunda rede com pior IDPP médio (0,79), com uma distância real média de 761,95 metros. Apesar de manter um IDPP médio muito semelhante ao obtido na distância direta de 400 metros (menos 0,1), a diferença para as redes ortogonais e para a rede orientada à estação aumentou. A rede irregular de baixa densidade é, mais uma vez, a que obtém um IDPP menor (0,72), embora tenha um valor ligeiramente superior em relação ao obtido na distância direta anterior (diferença positiva de 0,3). Além disso, as diferenças para as restantes redes também diminuíram.

Por fim, analisando a tabela 13 (pág.120) correspondente ao IDPP para a distância direta de 800 metros, verifica-se a mesma tendência obtida na distância direta de 600 metros. A rede orientada à estação é aquela que obtém um IDPP mais elevado (0,88) com uma distância real média de 909,48 metros. As redes ortogonais seguem-se com um IDPP de 0,85, verificando-se uma ligeira diferença entre a distância real média, onde, em contraste com a distância direta anterior, a rede ortogonal (75mx50m) apresenta uma distância ligeiramente inferior (964,15 metros) em relação à rede ortogonal (150mx100m) (967,03 metros). A rede irregular de alta densidade apresenta um IDPP médio de 0,81, com uma distância real média de 987,46. Por fim, na rede irregular de baixa densidade observa-se um IDPP médio de 0,68, o que constitui uma diminuição de 0,4 em relação ao valor observado na distância direta de 600 metros. No entanto, o fator que mais de destaca é a distância real média de 1309,45, uma diferença de mais de 500 metros em relação à distância direta.

Os resultados observados estão em consonância com os obtidos no ponto anterior. A rede orientada à estação é aquela que obtém os melhores resultados, sendo na irregular de baixa densidade onde se verificam os piores. Relativamente à rede irregular de alta densidade, que no ponto anterior tinha apresentado resultados em alguns parâmetros superiores ao da rede ortogonal (75mx50m), foi aquela que obteve consistentemente, os segundos menores IDPPs. Mais uma vez não foi possível verificar o papel da dimensão dos quarteirões, uma vez que para todas as distâncias, o IDPP de ambas as redes ortogonais foi exatamente igual, e no que diz respeito às distâncias médias, também não foi possível descortinar nenhuma vantagem de uma rede ortogonal face à outra.

Nas figuras 36, 37, 38, 39 e 40 (pág.121 a 123) é possível obter uma perspectiva mais concreta das rotas reais resultantes, bem como dos pontos de origem definidos. No

entanto, é preciso fazer referência, ao facto de que, alguns dos valores da distância real obtidos, correspondem aos limites de distância na rede viária, e não à distância total até ao ponto. Isto deve-se ao facto de os pontos terem sido definidos de forma perfeitamente aleatória, pelo que alguns pontos não coincidem diretamente com a rede viária. Neste caso, a distância real corresponde à distância a partir do ponto da rede viária mais próximo do ponto de origem.

<b>Rede</b>	<b>Ponto de origem</b>	<b>Distância direta (metros)</b>	<b>Distância real (metros)</b>	<b>IDPP</b>	<b>Distância real média (metros)</b>	<b>IDPP médio</b>
Irregular de alta densidade	1 (Norte)	400	457,75	0,87	507,13	0,80
	2 (Sudeste)	400	536,98	0,74		
	3 (Sudoeste)	400	430,97	0,93		
	4 (Sul)	400	556,5	0,72		
	5 (Este)	400	488,98	0,82		
	6 (Oeste)	400	434,91	0,92		
	7 (Noroeste)	400	582,8	0,69		
	8 (Nordeste)	400	568,13	0,70		
Irregular de baixa densidade	1 (Norte)	400	496,7	0,81	612,16	0,69
	2 (Sudeste)	400	571,52	0,70		
	3 (Sudoeste)	400	840,57	0,48		
	4 (Sul)	400	435,49	0,92		
	5 (Este)	400	588,76	0,68		
	6 (Oeste)	400	616,71	0,65		
	7 (Noroeste)	400	470,17	0,85		
	8 (Nordeste)	400	877,35	0,46		
Ortogonal (75mx50m)	1 (Norte)	400	400	1,00	485,27	0,85
	2 (Sudeste)	400	572,57	0,70		
	3 (Sudoeste)	400	581,74	0,69		
	4 (Sul)	400	400	1,00		
	5 (Este)	400	400	1,00		
	6 (Oeste)	400	400	1,00		
	7 (Noroeste)	400	581,99	0,69		
	8 (Nordeste)	400	545,87	0,73		
Ortogonal (150mx100m)	1 (Norte)	400	400	1,00	485,27	0,85
	2 (Sudeste)	400	572,57	0,70		
	3 (Sudoeste)	400	581,74	0,69		
	4 (Sul)	400	400	1,00		
	5 (Este)	400	400	1,00		
	6 (Oeste)	400	400	1,00		
	7 (Noroeste)	400	581,99	0,69		
	8 (Nordeste)	400	545,87	0,73		
Orientada à estação	1 (Norte)	400	485,25	0,82	494,87	0,82
	2 (Sudeste)	400	474,22	0,84		
	3 (Sudoeste)	400	613,41	0,65		
	4 (Sul)	400	472,99	0,85		
	5 (Este)	400	463,06	0,86		
	6 (Oeste)	400	604,02	0,66		
	7 (Noroeste)	400	433,37	0,92		

	8 (Nordeste)	400	412,6	0,97		
--	--------------	-----	-------	------	--	--

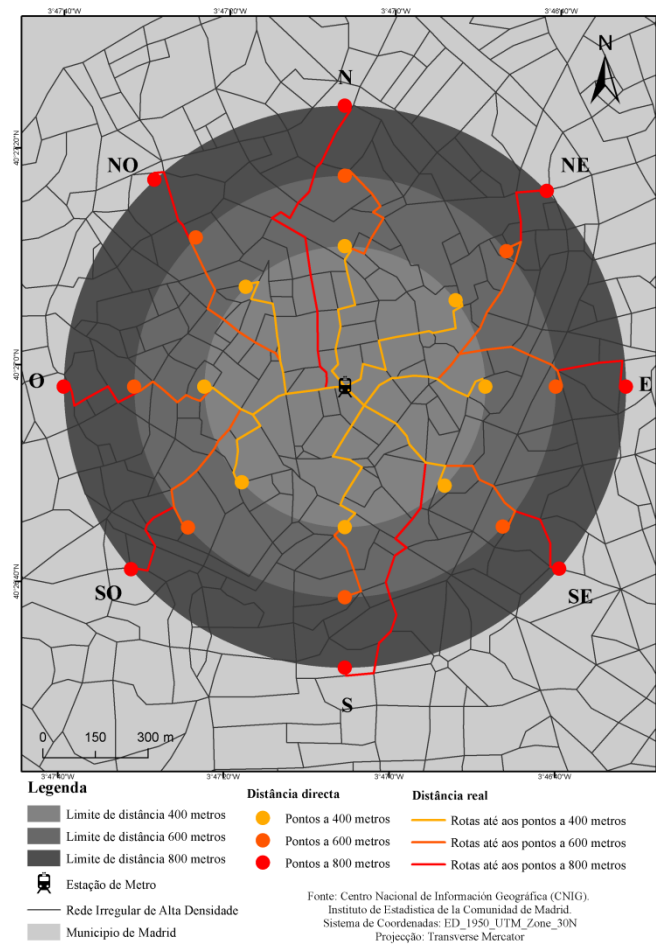
**Tabela 11** - Índice de permeabilidade para pedestres dos diferentes desenhos da rede viária (distância direta de 400 metros).

Rede	Ponto de origem	Distância direta (metros)	Distância real (metros)	IDPP	Distância real média (metros)	IDPP médio
Irregular de alta densidade	1 (Norte)	600	820,77	0,73	761,95	0,79
	2 (Sudeste)	600	746,75	0,80		
	3 (Sudoeste)	600	693,64	0,87		
	4 (Sul)	600	822,72	0,73		
	5 (Este)	600	756,95	0,79		
	6 (Oeste)	600	694,65	0,86		
	7 (Noroeste)	600	738,58	0,81		
	8 (Nordeste)	600	821,56	0,73		
Irregular de baixa densidade	1 (Norte)	600	747,71	0,80	874,37	0,72
	2 (Sudeste)	600	802,26	0,75		
	3 (Sudoeste)	600	905,92	0,66		
	4 (Sul)	600	641,58	0,94		
	5 (Este)	600	1419,73	0,42		
	6 (Oeste)	600	799,58	0,75		
	7 (Noroeste)	600	821,75	0,73		
	8 (Nordeste)	600	856,44	0,70		
Ortogonal (75mx50m)	1 (Norte)	600	600	1,00	719,84	0,86
	2 (Sudeste)	600	850,59	0,71		
	3 (Sudoeste)	600	848,15	0,71		
	4 (Sul)	600	600	1,00		
	5 (Este)	600	600	1,00		
	6 (Oeste)	600	600	1,00		
	7 (Noroeste)	600	824,45	0,73		
	8 (Nordeste)	600	835,54	0,72		
Ortogonal (150mx100m)	1 (Norte)	600	600	1,00	713,59	0,86
	2 (Sudeste)	600	800,59	0,75		
	3 (Sudoeste)	600	798,15	0,75		
	4 (Sul)	600	600	1,00		
	5 (Este)	600	600	1,00		
	6 (Oeste)	600	600	1,00		
	7 (Noroeste)	600	824,45	0,73		
	8 (Nordeste)	600	885,54	0,68		
Orientada à estação	1 (Norte)	600	854,53	0,70	695,02	0,87
	2 (Sudeste)	600	600	1,00		
	3 (Sudoeste)	600	745,45	0,80		
	4 (Sul)	600	700,41	0,86		
	5 (Este)	600	663,02	0,90		
	6 (Oeste)	600	732,84	0,82		
	7 (Noroeste)	600	663,4	0,90		
	8 (Nordeste)	600	600,5	1,00		

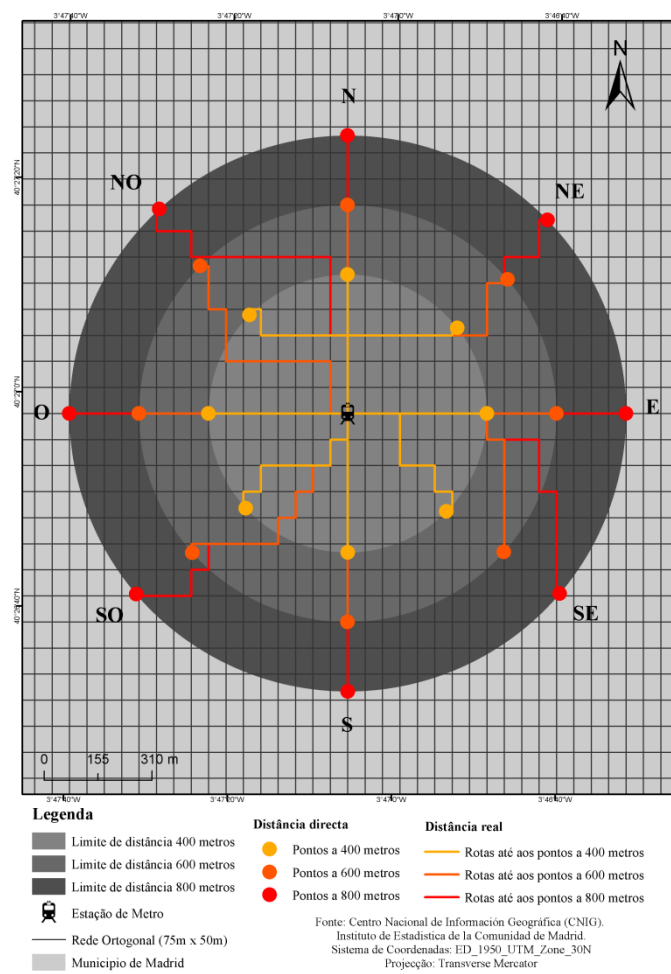
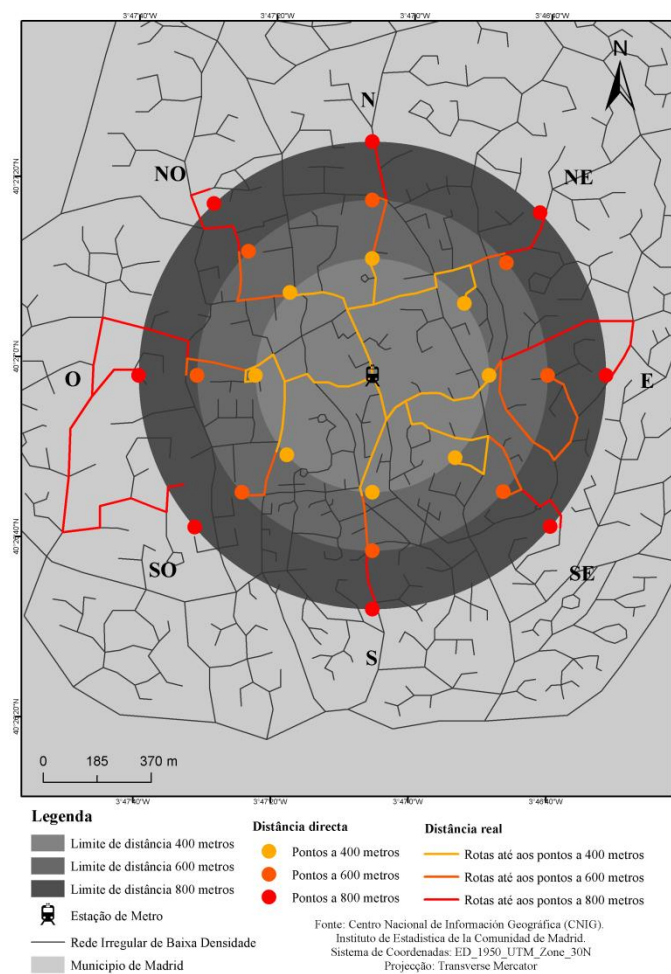
**Tabela 12** - Índice de permeabilidade para pedestres dos diferentes desenhos da rede viária (distância direta de 600 metros).

Rede	Pontos de origem	Distância direta (metros)	Distância real (metros)	IDPP	Distância real média (metros)	IDDP médio
Irregular de alta densidade	1 (Norte)	800	1027,15	0,78	987,46	0,81
	2 (Sudeste)	800	957,56	0,84		
	3 (Sudoeste)	800	881,20	0,91		
	4 (Sul)	800	1086,97	0,74		
	5 (Este)	800	972,93	0,82		
	6 (Oeste)	800	983,12	0,81		
	7 (Norroeste)	800	978,1	0,82		
	8 (Nordeste)	800	1012,61	0,79		
Irregular de baixa densidade	1 (Norte)	800	908,23	0,88	1309,45	0,68
	2 (Sudeste)	800	2452,84	0,33		
	3 (Sudoeste)	800	1064,5	0,75		
	4 (Sul)	800	828,64	0,97		
	5 (Este)	800	1351,06	0,59		
	6 (Oeste)	800	1593,05	0,50		
	7 (Norroeste)	800	1203,71	0,66		
	8 (Nordeste)	800	1073,59	0,75		
Ortogonal (75mx50m)	1 (Norte)	800	800	1,00	964,15	0,85
	2 (Sudeste)	800	1133,19	0,71		
	3 (Sudoeste)	800	1134,77	0,70		
	4 (Sul)	800	800	1,00		
	5 (Este)	800	800	1,00		
	6 (Oeste)	800	800	1,00		
	7 (Norroeste)	800	1138,59	0,70		
	8 (Nordeste)	800	1106,61	0,72		
Ortogonal (150mx100m)	1 (Norte)	800	800	1,00	967,03	0,85
	2 (Sudeste)	800	1119,71	0,71		
	3 (Sudoeste)	800	1118,1	0,72		
	4 (Sul)	800	800	1,00		
	5 (Este)	800	800	1,00		
	6 (Oeste)	800	800	1,00		
	7 (Norroeste)	800	1141,82	0,70		
	8 (Nordeste)	800	1156,61	0,69		
Orientada à estação	1 (Norte)	800	916,97	0,87	909,48	0,88
	2 (Sudeste)	800	860,15	0,93		
	3 (Sudoeste)	800	990,8	0,81		
	4 (Sul)	800	899,1	0,89		
	5 (Este)	800	863,38	0,93		
	6 (Oeste)	800	918,83	0,87		
	7 (Norroeste)	800	924,83	0,87		
	8 (Nordeste)	800	901,8	0,89		

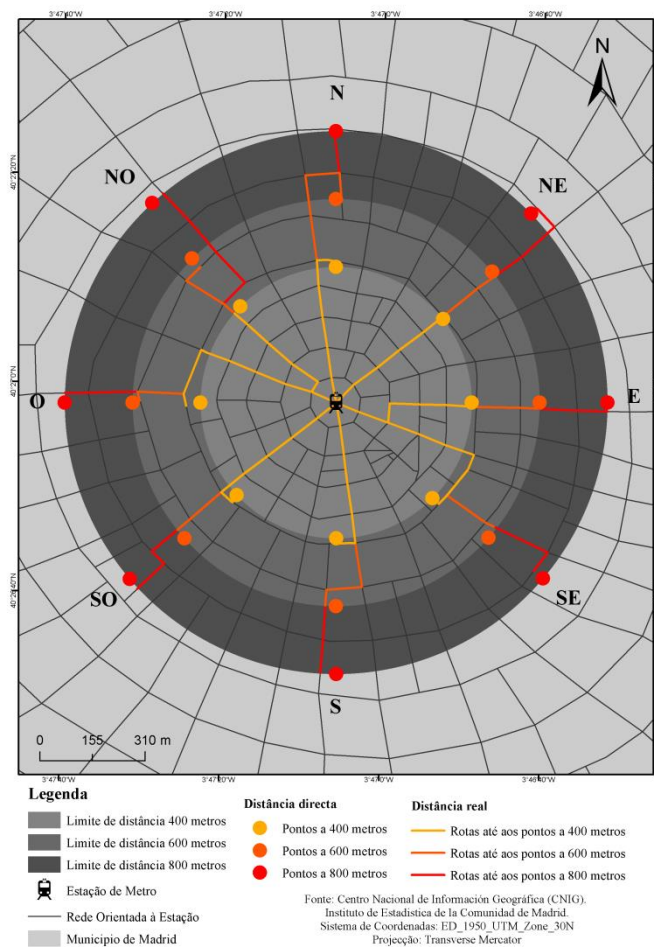
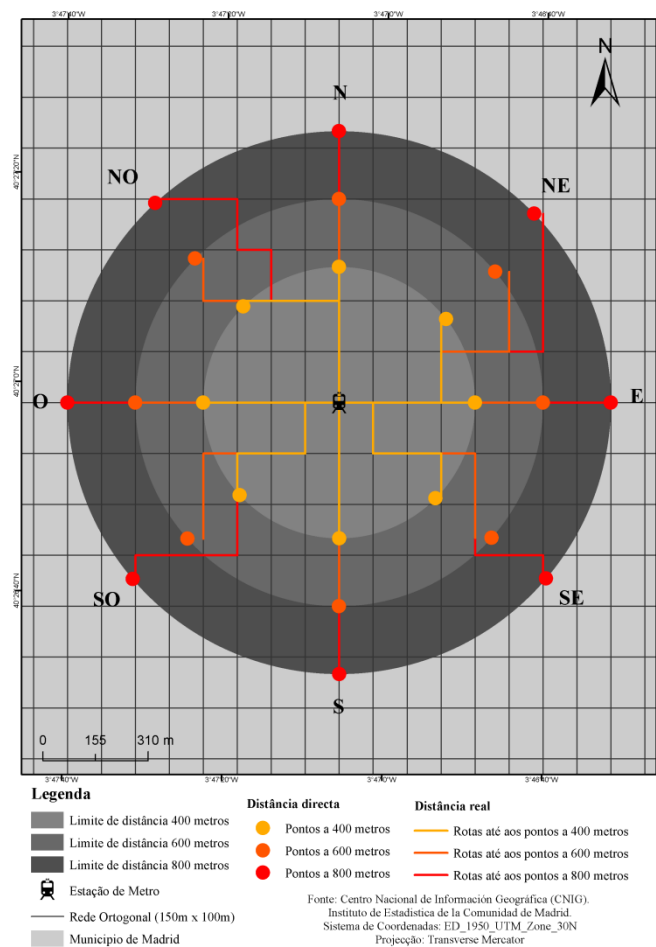
**Tabela 13** - Índice de permeabilidade para pedestres dos diferentes desenhos da rede viária (distância direta de 800 metros).



**Figura 36** - Rotas da distância real para a rede irregular de alta densidade.



**Figura 37** - Rotas da distância real para a rede irregular de baixa densidade. **Figura 38** - Rotas da distância real para a rede ortogonal (75mx50m).



**Figura 39** - Rotas da distância real para a rede ortogonal (150mx100m). **Figura 40** - Rotas da distância real para a rede orientada à estação.

### 6.3 Padrão do sistema viário

Neste capítulo procura-se analisar os diferentes desenhos viários ao nível da conectividade, sendo aplicado para o efeito o padrão do sistema viário. Apesar de ser um índice com algumas imperfeições, uma vez que não tem conta a densidade de intersecções nem a dimensão das vias, é interessante estabelecer uma relação com os resultados obtidos na cobertura espacial e no índice de permeabilidade para pedestres. Nesse sentido, o padrão do sistema viário pode permitir uma análise, ainda que no plano teórico, sobre a conectividade dos diferentes desenhos em estudo. É analisado o número de intersecções de acordo com os três limites de distância de análise que têm sido aplicados ao longo deste projeto (400, 600 e 800 metros).

Relativamente à rede irregular de baixa densidade, no número de intersecções total são contabilizadas as *cul-de-sacs* (becos sem saída). No que diz respeito às duas redes ortogonais, a análise não será centrada no valor do índice em si, uma vez que todas as intersecções nos dois desenhos viários ortogonais correspondem a intersecções em “cruz”. Desta forma, terá mais interesse comparar o número total de intersecções, uma vez que, teoricamente, quanto maior for o número de intersecções total maior a conectividade da rede, e por outro lado, menor será a dimensão dos quarteirões.

Desta forma, analisando as tabelas 14, 15 e 16 (pág.125 e 126) é possível verificar que, para todos os limites de distância e tal como referido acima, as duas redes ortogonais são aquelas que apresentam um PSV superior (valor máximo). No que diz respeito às restantes redes, o valor do PSV mantém-se relativamente constante nos diferentes limites de distância de análise. Entre estas, a rede orientada à estação é que apresenta um PSV mais elevado (0,64, 0,6 e 0,64, respectivamente), seguindo-se a rede irregular de alta densidade (0,32, 0,3 e 0,34, respectivamente). Mais uma vez, a rede irregular de baixa densidade é que apresenta os piores resultados (0,12, 0,14 e 0,16, respectivamente).

No que diz respeito ao número de intersecções total, a rede ortogonal (75mx50m) é a que apresenta uma contabilização superior, seguindo-se a rede irregular de alta densidade e a rede orientada à estação. A rede ortogonal (150mx100m) e a rede irregular de baixa densidade são as que apresentam um menor número de intersecções total. Aqui deve ser dada uma especial atenção às duas redes ortogonais, pois a ortogonal (75mx50m) é aquela que apresenta o maior número de intersecções total e a ortogonal (150mx100m) o menor. Este facto, está obviamente relacionado com a



dimensão dos quarteirões de cada uma das redes. No entanto, tendo a rede ortogonal (75mx50m) uma conectividade teórica superior, face ao número de intersecções total, e tendo em conta os resultados obtidos nos dois pontos anteriores, não é possível mais uma vez, verificar o papel negativo da dimensão dos quarteirões na acessibilidade/mobilidade pedonal. Relacionando estes resultados com os obtidos no índice de permeabilidade para pedestres, não é possível reconhecer a ideia de que os quarteirões de menor dimensão, que se traduzem num maior número de intersecções, representam um maior número de rotas e percursos com distâncias relativamente mais curtas, defendida por Handy, 2003 (Amancio 2005).

Rede	Limite de distância de análise (metros)	Número de intersecções total	Número de intersecções em “cruz”	PSV
Irregular de alta densidade	400	77	25	0,32
Irregular de baixa densidade	400	33	4	0,12
Ortogonal (75mx50m)	400	81	81	1
Ortogonal (150mx100m)	400	19	19	1
Orientada à estação	400	80	51	0,64

**Tabela 14** - Padrão do sistema viário dos diferentes desenhos da rede viária (limite de distância de análise de 400 metros).

Rede	Limite de distância de análise (metros)	Número de intersecções total	Número de intersecções em “cruz”	PSV
Irregular de alta densidade	600	152	45	0,3
Irregular de baixa densidade	600	79	11	0,14
Ortogonal (75mx50m)	600	185	185	1
Ortogonal (150mx100m)	600	45	45	1
Orientada à estação	600	124	75	0,6

**Tabela 15** - Padrão do sistema viário dos diferentes desenhos da rede viária (limite de distância de análise de 600 metros).

Rede	Limite de distância de análise (metros)	Número de intersecções total	Número de intersecções em “cruz”	PSV
Irregular de alta densidade	800	234	80	0,34
Irregular de baixa densidade	800	161	25	0,16
Ortogonal (75mx50m)	800	331	331	1
Ortogonal (150mx100m)	800	81	81	1
Orientada à estação	800	165	105	0,64

**Tabela 16** - Padrão do sistema viário dos diferentes desenhos da rede viária (limite de distância de análise de 800 metros).

#### 6.4 Índice de qualidade de acesso

Neste capítulo procura-se analisar a qualidade de acesso de cada uma das seis redes analise. Este índice utiliza uma função de *distance decay* no sentido de incorporar a influência da distância à estação, ou seja, a localização da população residente é utilizada como um *proxy* da qualidade de acesso (García-Palomares 2013). Se a população estiver maioritariamente concentrada próximo à estação, o valor da qualidade de acesso será mais elevado e, por outro lado, caso a população se concentre maioritariamente nas áreas mais distantes da estação, o valor da qualidade de acesso será menor.

Tal como referido anteriormente, os valores de  $R_i$  e  $R_{max}/R_i$  foram obtidos através do trabalho de García-Palomares et al. (2013), que por sua vez, calcularam os rácios de acesso por cada 100 metros, através dos dados provenientes de um estudo da Autoridade de Transportes de Madrid, do ano 2004, sobre os utilizadores do metro de Madrid. Os valores da terceira coluna ( $P_i$ ) correspondem ao total de residentes de cada um dos limites de 100 metros, sendo a quarta coluna ( $(R_{max}/R_i)P_i$ ) a população residente ponderada pelos rácios de acessos. Para além da qualidade de acesso para a população geral, pretende-se comparar a qualidade de acesso por grupo etário.

No que diz respeito à rede irregular de alta densidade, analisando a tabela 17 (pág.129), é possível constatar que o índice de qualidade de acesso resulta num valor de 0,69, indicando uma certa tendência para a maioria da população se encontrar nas áreas

intermédias das áreas de serviço das estações. Esta tendência é verificável no facto de as faixas de 500 metros (523.708 residentes) e 400 metros (485.655 habitantes) serem aquelas onde se verifica o maior número de residentes. No total foram contabilizados 2.906.693 residentes, considerados espacialmente cobertos até um limite de 1200 metros. Aplicando os rácios de acesso à população residente de cada uma das fixas de 100 metros, obtém-se um total de 2.015.043 residentes. Relativamente aos grupos etários (anexo 19), constata-se que a os grupos etários com melhor índice de qualidade de acesso são os adultos (25-64 anos) e os idosos (65 ou mais anos) com um valor de 0,7. Por outro lado, as crianças (0-14 anos) e os jovens (15-24 anos) obtiveram um valor de 0,68.

Relativamente à rede irregular de baixa densidade, analisando a tabela 18 (pág.129), é possível verificar que o índice de qualidade de acesso resulta num valor de 0,63. No total foram contabilizados 2.723.586 residentes, considerados espacialmente cobertos até um limite de 1200 metros. Contrariamente ao verificado nas restantes redes, as faixas de distância onde se verifica maior população residente são as de 700 metros (485.549 habitantes) e de 800 metros (392.598 habitantes). Sendo aplicados os rácios de acesso à população residente de cada uma das fixas de 100 metros, obtém-se um total de 1.708.239 residentes. No que diz respeito aos grupos etários (anexo 20), verifica-se um equilíbrio no índice de qualidade de acesso, com uma variação quase inexistente. Os adultos (25-64 anos) e os idosos (65 ou mais anos) obtiveram um valor de 0,63, sendo que as crianças (0-14 anos) e os jovens (15-24 anos) obtiveram um valor de 0,62.

No que diz respeito à rede ortogonal (75mx50m), analisando a tabela 19 (pág.130) verifica-se que o valor do índice de qualidade de acesso para a população residente é de 0,71. No total foram contabilizados espacialmente cobertos, até um limite de 1200 metros, 2.913.432 residentes. Sendo aplicados os rácios de acesso à população residente de cada uma das fixas de 100 metros, obtém-se um total de 2.073.354 residentes. Relativamente aos grupos etários (anexo 21), os idosos (65 ou mais anos) são aqueles que apresentam um valor mais elevado (0,72), seguindo-se os adultos (25-64 anos) com um valor de 0,71. As crianças (0-14 anos) e os jovens (15-24 anos) obtiveram o mesmo valor (0,7).

Relativamente à rede ortogonal (150mx100m, analisando a tabela 20 (pág.130) verifica-se que o valor do índice de qualidade de acesso para a população residente é de 0,69. Foram contabilizados, no total, 2.868.409 residentes considerados espacialmente

cobertos até ao limite de 1200 metros. A aplicação dos rácios de acesso resultou num total de 1.972.750 residentes. No que diz respeito aos grupos etários (anexo 22), verifica-se um equilíbrio no índice de qualidade de acesso, com uma variação quase inexistente. Os adultos (25-64 anos) e os idosos (65 ou mais anos) obtiveram um valor de 0,69, sendo que as crianças (0-14 anos) e os jovens (15-24 anos) obtiveram um valor de 0,68

A rede orientada à estação (tabela 21 – pág.131) apresenta um índice de qualidade de acesso de 0,75, sendo contabilizados 2.981.058 residentes espacialmente cobertos até ao limite de 1200 metros. A aplicação dos rácios de acesso resultou num total de 2.231.200 residentes. Relativamente aos grupos etários (anexo 23) verifica-se que o grupo etário com um valor mais elevado é o dos idosos (64 ou mais anos) com 0,76, seguindo-se os adultos (25-64 anos) com 0,75 e os jovens (15-24 anos) com 0,74. O grupo etário com pior índice de qualidade de acesso é o das crianças (0-14 anos) com um valor de 0,73.

A rede atual do município de Madrid (tabela 22 – pág.131) regista um índice de qualidade de acesso de 0,68, sendo contabilizados 2.851.160 residentes com cobertura espacial até a um limite de 1200 metros. Aplicando os rácios de acesso obtém-se um total de 1.931.150 residentes. No que diz respeito aos grupos etários (anexo 24), verifica-se um equilíbrio no índice de qualidade de acesso, com uma variação quase inexistente. Os adultos (25-64 anos) e os idosos (65 ou mais anos) obtiveram um valor de 0,68, sendo que as crianças (0-14 anos) e os jovens (15-24 anos) obtiveram um valor de 0,67.

De uma forma geral, pode-se concluir que a rede orientada à estação é aquela que, de forma clara, obtém um índice de qualidade mais elevado (0,75), cerca de 0,07 melhor que a rede atual do município de Madrid. Por outro lado, a rede irregular de baixa densidade é aquela que apresenta um índice mais baixo (0,63), com uma diferença negativa de 0,05 em relação à rede atual do município. Comparando as duas redes ortogonais, verifica-se que a ortogonal (75mx50m) obtém um valor superior em relação à rede ortogonal (150mx100m) (0,71 e 0,69, respectivamente), contrariando os resultados obtidos nos pontos anteriores. Os valores obtidos para quase todas as redes indicam uma certa tendência para a população se localizar maioritariamente nas faixas intermédias das áreas de serviço. Esse facto pode ser comprovado no facto de a população residentes nas faixas dos 400 e 500 metros de todas as estações, ser consideravelmente superior ao verificado nas faixas adjacentes à estação ou nas mais

afastadas. A exceção é a rede irregular de baixa densidade onde se verifica uma maior concentração de residentes nas faixas de 700 e 800 metros. Relativamente aos grupos etários, os idosos (64 ou mais anos) e os adultos (25-64 anos) são aqueles que apresentam valores mais elevados em comparação com as crianças (0-14 anos) e os jovens (15-24 anos). De uma forma geral, os idosos são o grupo que apresenta um índice de qualidade mais elevado, e as crianças o mais baixo. Estes valores refletem o facto de os idosos residirem mais próximo das estações, em comparação com os restantes grupos etários.

<b>Distância à estação (metros)</b>	<b><math>R_i</math></b>	<b><math>R_{max}/R_i</math></b>	<b><math>P_i</math></b>	<b><math>(R_{max}/R_i)P_i</math></b>
100	0,5	1	68.993	68.993
200	0,46	0,93	226.131	210.302
300	0,43	0,86	380.602	327.318
400	0,39	0,79	485.655	383.667
500	0,36	0,72	523.708	377.070
600	0,32	0,65	379.813	246.878
700	0,29	0,59	271.258	160.042
800	0,26	0,52	181.661	94.464
900	0,22	0,45	158.925	71.516
1000	0,19	0,38	103.489	39.326
1100	0,15	0,31	73.106	22.663
1200	0,12	0,24	53.352	12.804
$\Sigma(R_{max}/R_i)P$	2.015.043			
$\Sigma P_i$	2.906.693			
$AQ$	0,69			

**Tabela 17** - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede irregular de alta densidade.

<b>Distância à estação (metros)</b>	<b><math>R_i</math></b>	<b><math>R_{max}/R_i</math></b>	<b><math>P_i</math></b>	<b><math>(R_{max}/R_i)P_i</math></b>
100	0,5	1	54.136	54.136
200	0,46	0,93	103.546	96.298
300	0,43	0,86	185.132	159.214
400	0,39	0,79	328.775	259.732
500	0,36	0,72	355.151	255.709
600	0,32	0,65	295.365	191.987
700	0,29	0,59	485.549	286.474
800	0,26	0,52	392.598	204.151
900	0,22	0,45	242.298	109.034
1000	0,19	0,38	129.904	49.364
1100	0,15	0,31	83.839	25.990
1200	0,12	0,24	67.293	16.150
$\Sigma(R_{max}/R_i)P$	1.708.239			
$\Sigma P_i$	2.723.586			

<i>AQ</i>	0,63
-----------	------

**Tabela 18** - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede irregular de baixa densidade.

<b>Distância à estação (metros)</b>	<b><i>Ri</i></b>	<b><i>Rmax/Ri</i></b>	<b><i>Pi</i></b>	<b><i>(Rmax/Ri)Pi</i></b>
100	0,5	1	97.756	97.756
200	0,46	0,93	288.365	268.179
300	0,43	0,86	434.816	373.942
400	0,39	0,79	515.369	407.142
500	0,36	0,72	467.939	336.916
600	0,32	0,65	353.335	229.668
700	0,29	0,59	242.693	143.189
800	0,26	0,52	165.541	86.081
900	0,22	0,45	132.372	59.567
1000	0,19	0,38	104.513	39.715
1100	0,15	0,31	66.052	20.476
1200	0,12	0,24	44.681	10.723
$\Sigma(Rmax/Ri)P$	2.073.354			
$\Sigma Pi$	2.913.432			
<i>AQ</i>	0,71			

**Tabela 19** - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede ortogonal (75mx50m).

<b>Distância à estação (metros)</b>	<b><i>Ri</i></b>	<b><i>Rmax/Ri</i></b>	<b><i>Pi</i></b>	<b><i>(Rmax/Ri)Pi</i></b>
100	0,5	1	65.566	65.566
200	0,46	0,93	180.477	167.844
300	0,43	0,86	370.294	318.453
400	0,39	0,79	521.699	412.142
500	0,36	0,72	467.318	336.469
600	0,32	0,65	400.320	260.208
700	0,29	0,59	288.107	169.983
800	0,26	0,52	187.183	97.335
900	0,22	0,45	143.711	64.670
1000	0,19	0,38	115.374	43.842
1100	0,15	0,31	77.587	24.052
1200	0,12	0,24	50.773	12.186
$\Sigma(Rmax/Ri)P$	1.972.750			
$\Sigma Pi$	2.868.409			
<i>AQ</i>	0,69			

**Tabela 20** - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede ortogonal (150mx100m).

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$P_i$	$(R_{max}/R_i)P_i$
100	0,5	1	113.403	113.403
200	0,46	0,93	383.477	356.634
300	0,43	0,86	587.567	505.308
400	0,39	0,79	604.973	477.929
500	0,36	0,72	448.411	322.856
600	0,32	0,65	286.853	186.454
700	0,29	0,59	192.332	113.476
800	0,26	0,52	138.523	72.032
900	0,22	0,45	85.262	38.368
1000	0,19	0,38	56.130	21.329
1100	0,15	0,31	46.014	14.264
1200	0,12	0,24	38.113	9.147
$\Sigma(R_{max}/R_i)P$	2.231.200			
$\Sigma P_i$	2.981.058			
$AQ$	0,75			

**Tabela 21** - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede orientada à estação.

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$P_i$	$(R_{max}/R_i)P_i$
100	0,5	1	60.904	60.904
200	0,46	0,93	215.907	200.794
300	0,43	0,86	371.877	319.814
400	0,39	0,79	454.216	358.831
500	0,36	0,72	433.717	312.276
600	0,32	0,65	366.805	238.423
700	0,29	0,59	289.556	170.838
800	0,26	0,52	196.696	102.282
900	0,22	0,45	154.788	69.655
1000	0,19	0,38	122.268	46.462
1100	0,15	0,31	94.403	29.265
1200	0,12	0,24	90.023	21.606
$\Sigma(R_{max}/R_i)P$	1.931.150			
$\Sigma P_i$	2.851.160			
$AQ$	0,68			

**Tabela 22** - Índice de qualidade de acesso, da população residente, para a rede atual do município de Madrid.

## 6.5 Índice sintético de acessibilidade

Neste capítulo procura-se comparar o índice sintético de acessibilidade para cada uma das redes em análise. Este índice reflete os resultados obtido no índice de qualidade de acesso, uma vez que o valor obtido no índice de qualidade de acesso é parte integrante do índice sintético de acessibilidade. De uma forma geral, o valor do índice

de qualidade de acesso é um complemento do índice sintético de acessibilidade. Este, por sua vez, é “o que melhor expressa a procura potencial, pois tem em conta o efeito de *distance decay*” (García-Palomares 2013).

Uma análise aos resultados obtidos (anexos 25, 26, 27, 28, 29 e 30) é possível verificar que o índice sintético de acessibilidade resulta num valor superior para a rede orientada à estação (2.235.794 habitantes), realçando mais uma vez no papel positivo deste tipo de modelo urbano na acessibilidade às diferentes estações da rede de metro de Madrid. O segundo valor mais elevado verifica-se na rede ortogonal (75mx50m), com um índice sintético de acessibilidade a resultar em 2.068.537 habitantes. Com valores relativamente próximos a este, seguem-se a rede irregular de baixa densidade (2.005.618 habitantes) e a rede ortogonal (150mx100m) com um valor de 1.979.202 habitantes. Sem surpresa, a rede irregular de baixa densidade é aquela que obtém um pior índice sintético de acessibilidade (1.715.859 habitantes), uma diferença de mais de 500.000 habitantes em relação à rede com o valor mais elevado (a rede orientada à estação). A rede atual do município de Madrid obteve um valor de 1.938.789 habitantes, um valor abaixo de quase todas as redes em análise, excepto a rede irregular de baixa densidade.

## **6.6 Estimação da procura potencial**

Neste capítulo procura-se analisar a procura potencial de todas as redes em análise, tendo como base os resultados dos indicadores sintéticos de acessibilidade da população residente e do emprego (número de trabalhadores). De uma forma geral, o indicador desenvolvido neste capítulo pode ser definido como um “indicador sintético de procura total”, uma vez que reflete os valores obtidos no ponto anterior.

Analisando a tabela 23 (pág.133), verifica-se que a rede orientada à estação é aquela que obtém uma procura potencial total superior (3.163.055 utilizadores), refletindo os resultados obtidos nos indicadores sintéticos de acessibilidade da população residente e do número de trabalhadores, sendo também nesta rede onde se verificam os maiores valores dos dois indicadores individualizados (2.235.794 e 927.261 utilizadores, respectivamente). As redes ortogonal (75mx50m), irregular de alta densidade e ortogonal (150mx100m) apresentam resultados muito similares, seja nos valores da procura potencial total (2.940.848, 2.851.669 e 2.815.915 utilizadores, respectivamente) seja nos valores dos indicadores sintéticos de acessibilidade dos dois



parâmetros. Por fim, a rede irregular de baixa densidade é aquela que apresenta os valores mais reduzidos, quer para a procura potencial total (2.447.915 utilizadores), quer para ambos os indicadores sintéticos de acessibilidade. A rede atual do município de Madrid obteve um valor de 2.743.526 possíveis utilizadores, um valor abaixo de quase todas as redes em análise, excepto a rede irregular de baixa densidade.

Os resultados dos indicadores de qualidade de acesso e sintético de acessibilidade, das diferentes redes, para o emprego (número de trabalhadores) podem ser analisados individualmente nos anexos 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37.

	Rede viária					
	Irregular de alta densidade	Irregular de baixa densidade	Ortogonal (75mx50m)	Ortogonal (150mxm100m)	Orientada à estação	Atual
$SA_P$	2.005.618	1.715.859	2.068.537	1.979.202	2.235.794	1.938.789
$SA_E$	846.051	732.056	872.311	836.713	927.261	804.737
$PPt$	2.851.669	2.447.915	2.940.848	2.815.915	3.163.055	2.743.526

**Tabela 23** - Estimação da procura potencial total para as diferentes redes viárias em análise.

## 7. Proposta de aplicação da presente metodologia para o metro do Porto

Um dos objetivos deste estágio passava também por aplicar as competências adquiridas neste período, numa análise à cobertura espacial da rede de metro do Porto (Metro do Porto). O objetivo principal passava por comparar, ainda que a escalas completamente distintas, a cobertura espacial da rede de metro do Porto, que abrange sete dos concelhos da área metropolitana do Porto, com a rede de metro do concelho de Madrid. Atualmente, a rede de metro do Porto é composta por seis linhas distintas, com cerca de 67km de extensão no total, distribuídas ao longo de 81 estações.

A escolha do metro do Porto deve-se ao facto de ser um dos principais meios de mobilidade para muitos habitantes da região metropolitana do Porto, que acedem diariamente à rede de metro. Essa importância reflete-se nos cerca de 56 milhões de acessos registados no ano de 2013 (Metro do Porto, 2014). Sabendo que o modo pedonal é um dos principais modos de acesso ao transporte coletivo, sobretudo nas áreas urbanas, seria interessante analisar as áreas de influência das diferentes estações que compõe a rede de metro. Neste sentido, a análise do desenho viário em torno das diferentes estações permitiria identificar pontos críticos de acessibilidade pedonal à rede de metro, identificando assimetrias locais e regionais na cobertura espacial.

No entanto, esta aplicação não foi possível, uma vez que não se obteve todos os dados necessários para a realização das diferentes tarefas. Além disso, em termos de calendarização, seria necessário um período de tempo razoável para a obtenção de dados e a aplicação das diferentes metodologias para a obtenção de resultados. No entanto, e para uma possível aplicação futura, segue uma explicação sucinta sobre quais os dados necessários, e qual a metodologia a aplicar tendo como base principal o *software ArcGIS Desktop 10.2*, utilizado para a análise da rede de metro do município de Madrid.

Numa primeira fase do trabalho, seria necessário conhecer a localização da população e do emprego (procura potencial) nos diferentes concelhos abrangidos pela rede de metro. Para o efeito, seria necessário obter um conjunto de dados referentes à população por secção (proveniente do INE – Instituto Nacional da Estatística), a localização dos números de polícia (cedidos pela Câmara Municipal do Porto) e dos principais pontos de atividade económica, cedidos pelo Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto (incluindo a informação referente ao número de trabalhadores por ponto de atividade). Para uma distribuição mais fina da

população, seria também necessário obter informação relativa aos usos do solo (do projeto *Corine Land Cover*). Para efeitos de análise da cobertura espacial, seria necessário obter os pontos respeitantes às diferentes estações da rede de metro, bem como a rede viária (o mais completa possível) dos diferentes concelhos abrangidos pela rede de metro do Porto.

Obtendo os dados necessários para a realização do projeto, proceder-se-ia à análise da cobertura espacial da rede de metro do Porto, seguindo a mesma metodologia aplicada para o município de Madrid. Uma vez que não é possível conhecer, com exatidão, a população residente por número de polícia, seria necessário, tal como para o município de Madrid, determina-la com a maior desagregação espacial possível. Para o efeito seria cruzada a *shapefile* referente aos usos do solo com a informação referente à população residente por secção, no sentido de se obter a população por uso do solo. De seguida, e com o objetivo de distribuir a população pelo uso residencial (distinguindo os diferentes usos residenciais: residencial multifamiliar ou residencial unifamiliar), tendo também em conta a área de cada uso do solo na secção, seriam aplicados os dois pesos referentes do uso do solo e à área. Neste caso seria necessário conhecer as características da população residente nas diferentes áreas de estudo, no que diz respeito à proporção de residentes nos usos residencial multifamiliar e unifamiliar, para efeitos de determinação do valor dos pesos a aplicar para os usos do solo de tipo residencial. De seguida, localizar-se-iam os números de polícia pertencentes a cada polígono de uso residencial, determinando o total de números de polícia localizados em áreas usos residencial. Quanto ao emprego, seria necessário georreferenciar todos os pontos de atividade, através da ferramenta *geocoding*<sup>20</sup>, tendo como base a morada de cada um dos pontos, de forma a localizar correctamente os pontos correspondentes aos pontos de atividade (emprego). A determinação do número de trabalhadores seria um processo relativamente mais complexo, uma vez que essa informação não está disponível publicamente. Caso não fosse possível a obtenção desta informação, seria apenas considerado, para efeitos da cobertura espacial e estimação da procura, o total de pontos de atividade abrangidos.

---

<sup>20</sup> É uma ferramenta que permite a localização de entidades através de uma morada, número de polícia ou código postal, de uma forma automatizada. A partir de uma base com informação ou descrição de um local, como um par de coordenadas, um endereço, ou um nome de uma rua, é possível transformar a informação em pontos e localizá-los no espaço geográfico.

Para a delimitação das diferentes áreas de serviço, seria necessário proceder à construção da rede através da ferramenta *New Network Dataset*, definindo os critérios dessa mesma construção. A delimitação das áreas de serviço seria realizada através da ferramenta *New Service Area* do *Network Analyst*, definindo os critérios para a delimitação das áreas de serviço, tendo as 81 estações da rede de metro do Porto definidas como *facilities* no processo de delimitação. Posteriormente, e para efeitos de análise da população coberta, os polígonos das áreas de serviço resultantes seriam cruzados com as microsecções relativas à população residente, determinando a população residente coberta através do método de proporção de áreas (ver capítulo 5.5). No que diz respeito ao número de pontos de atividade cobertos, seria apenas necessário cruzar os polígonos correspondentes às áreas de serviço delimitadas com os pontos de atividade já georreferenciados.

Numa segunda fase do trabalho seriam aplicados os indicadores de qualidade de acesso e sintético de acessibilidade, com o intuito de, posteriormente, estimar a procura potencial da rede de metro do Porto. No indicador de qualidade de acesso, seriam utilizados os valores relativos aos rácios de acesso do município de Madrid, obtidos no trabalho de García-Palomares et al. (2013), uma vez que não existem dados semelhantes para a área metropolitana do Porto (ver capítulos 5,7 e 5.8). Esta análise seria realizada, quer ao nível da estação de forma individual, quer para o conjunto de todas as estações, destacando as diferenças entre as diferentes estações (escala local) e os diferentes municípios abrangidos (escala municipal). Além disso, seria também interessante analisar a envolvente das estações, no que diz respeito à rede viária, focando nos dois aspetos abordados neste projeto: permeabilidade e conectividade da rede. A aplicação dos dois índices já anteriormente explicados (capítulos 6.2 e 6.3), permitiriam analisar as características da rede viária envolvente à estação, identificando assimetrias entre as estações relativamente aos parâmetros de permeabilidade e conectividade da sua envolvente.

Numa terceira fase, seria interessante analisar a cobertura espacial da rede de metro do Porto, com base nos planos de expansão da rede, que ainda se encontram em fase de projeto, aplicando as diferentes metodologias desenvolvidas ao longo deste relatório de estágio. Neste ponto seria interessante analisar as diferenças na cobertura espacial entre a rede atual e a rede com os planos de expansão, verificando quais as áreas onde se verificariam os maiores ganhos em termos de cobertura espacial, não só em termos de área, mas também ao nível da população e emprego abrangidos. Além

disso, seria igualmente interessante, analisar o desenho viário em torno da localização das novas estações propostas, analisando as características que dizem respeito à permeabilidade e à conectividade da rede viária. No entanto, reconhece-se a dificuldade na execução das tarefas desta fase, uma vez que para além da exigência de um conhecimento mais detalhado sobre os planos de expansão da atual rede de Metro do Porto, seria necessário aferir acerca da disponibilidade de dados relativos às diferentes áreas abrangidas.

Em termos de calendarização da componente prática, para a realização de todas as tarefas, seriam necessário um prazo de cerca de oito a dez semanas: entre quatro e cinco semanas para a realização da primeira fase; e quatro/cinco semanas para a concretização da segunda e terceira fase. Para a análise de resultados, produção de cartografia e respetivas conclusões, seriam necessárias cerca de duas/três semanas.

## 8. Conclusão

Neste trabalho procurou-se analisar a influência do desenho urbano, na cobertura espacial, tendo como base, a comparação de diferentes tipos de desenhos viários fictícios, para a mesma área de estudo, analisando as diferentes estações que compõem a rede de metro do município de Madrid. Os resultados obtidos permitem concluir que, de facto, o desenho viário influencia significativamente os padrões de cobertura espacial, e é um fator a ter em conta no planeamento do transporte público. Uma vez que o aumento do número de utilizadores, do serviço de transporte público, é um objetivo central das políticas de mobilidade urbana, deve ser prestada uma especial atenção aos fatores que condicionam a acessibilidade ao serviço.

De facto, sendo o acesso ao transporte público, nos espaços urbanos, realizado maioritariamente através do modo pedonal, torna-se importante compreender o modo como o desenho urbano influencia na cobertura espacial do serviço e, consequentemente, na utilização do mesmo. Os resultados obtidos permitem verificar que existem diferenças significativas na cobertura espacial, de acordo com o tipo de desenho urbano. Nos diferentes desenhos viários fictícios em análise, a rede orientada à estação foi aquela que, consistentemente, obteve os melhores resultados ao nível da cobertura espacial, para todos os parâmetros e todos os limites de distância de análise. Em sentido inverso, a rede irregular de baixa densidade foi a que obteve os piores resultados. Os resultados obtidos estão em consonância com os diferentes autores que abordam a temática do design urbano, na acessibilidade pedonal ao transporte público (Allan, 2001; Boarnet & Crane, 2001; Cervero & Kockelman, 1997; Moudon et al., 1997; Shriver, 1997 in Amancio 2005, Zhao et al, 2003 in Gutiérrez 2008). Neste aspeto, verifica-se que os resultados obtidos na cobertura espacial, da rede orientada à estação, são coincidentes com o trabalho de Cervero (1994), que analisou os benefícios dos modelos TOD, concluindo que nas estações localizadas em áreas com implantação deste tipo de modelo urbano, verificam-se maiores taxas de utilização do transporte público (Cardozo et al. 2010).

Analisando as diferenças entre os resultados obtidos entre a rede irregular de baixa densidade e as restantes redes em análise, é possível concluir que as características do desenho urbano, com maior influência na cobertura espacial, são a

densidade de vias e a conectividade/continuidade entre as mesmas. Esse facto pode ser verificado na análise à rede atual do município de Madrid, onde os resultados obtidos mostram que os maiores níveis de cobertura espacial registam-se nas freguesias centrais do município (predomínio do traçado irregular de alta densidade e do ortogonal), cujo desenho urbano é claramente marcado por uma grande conectividade e densidade de vias, em contraste com as áreas periféricas (predomínio do traçado irregular de baixa densidade), onde se verifica uma menor densidade viária e menor conectividade entre as vias.

Por outro lado, não foi possível demonstrar a influência da dimensão dos quarteirões na cobertura espacial, uma vez que os resultados obtidos para as duas redes ortogonais em análise, não permitiram descortinar nenhuma vantagem/desvantagem entre os dois desenhos. Pelo contrário, os valores observados para ambas as redes ortogonais mostram um claro equilíbrio em todos os parâmetros e indicadores analisados. Particularmente no índice de permeabilidade para pedestres (IDPP), é possível verificar um grande equilíbrio nos resultados, entre as duas redes viárias ortogonais, contrariando diversos autores como Dill (2004), Krizek (2003), Chisholm (2002) ou Allan (2001), que destacam a influência negativa das maiores dimensões dos quarteirões na mobilidade pedonal e no acesso ao transporte público (Amancio 2005). No que diz respeito ao método de delimitação das áreas de serviço, conclui-se que, de facto, o método de distâncias euclidianas produz uma sobrestimação na cobertura espacial, em relação ao método de distâncias de rede. Esse fator pode condicionar a qualidade final do trabalho, independentemente das características da área a analisar. Além disso, os resultados verificados permitem concluir, em consonância com os trabalhos de Gutiérrez e García-Palomares (2008) e García-Palomares et al. (2008), que fatores como a densidade/proximidade de estações, a dimensão das áreas de serviço resultantes do método de distância de rede e a distribuição da população/emprego influenciam decisivamente a sobrestimação entre os dois métodos de delimitação.

Por fim, é de realçar a importância dos Sistemas de Informação Geográfica nas análises de cobertura. Todos os resultados apresentados foram obtidos através de informação disponível ao público, pelas diferentes entidades do município de Madrid. Os SIG através da sua capacidade de trabalhar, exibir e analisar, simultaneamente, vários tipos de dados, permitiram a realização de diversas análises, com diferentes graus de profundidade, possibilitando uma análise detalhada à influência do desenho urbano na cobertura espacial, das diferentes estações de metro do município de Madrid.

## Referências Bibliográficas

al., D. e. (2012). "Identifying bus stop redundancy: A gis-based spatial optimization approach." Computers, Environment and Urban Systems **36**: 445-455.

al., H. e. (2011). Land use and transport: how accessibility shapes land use. The University of Hong Kong.

al., R. e. (2014). "Indicadores do desenho urbano e sua relação com a propensão a caminhada." Journal of Transport Literature **8**(3): 62-88.

al., Z. e. (2003). "Forecasting transit walk accessibility: a regression model alternative to the buffer method."

Amancio, M. (2005). Relacionamento entre a forma urbana e as viagens a pé. Engenharia Urbana. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos: 88.

Campos, V. M., Bruna (s.d.). "Estratégias integradas de transporte e uso do solo visando a redução de viagens por automóvel."

Cardozo et al. (2010). "Influencia de la morfología urbana en la demanda de transporte público: análisis mediante SIG y modelos de regresión múltiple." GeoFocus **10**: 82-102.



Cervero, R. (2006). "Alternative approaches to modeling the travel-demand impacts of smart growth." Journal of the American Planning Association **72**: 285-295.

Cervero, R. K., Kara (1997). "Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design." Transportation Research Part D **2**(3): 199-219.

Chandra, S. e. a. (2013). "Accessibility evaluations of feeder transit services." Transportation Research Part A **52**: 47-63.

Commission, E. (2003). Transport and land use.

Commission, E. (2006). Land Use and Regional Planning. D. E. a. Transport. Belgium.

Eboli, L. e. a. (2014). "Service coverage factors affecting bus transit system availability." Procedia - Social and Behavioral Sciences **111**: 984-993.

Ewing, R. C., Robert (2001). "Travel and the built environment - synthesis."

García-Palomares, J. C. e. a. (2008). Sistemas de Información Geográfica como herramientas en la estimación de las entradas en las estaciones de metro en Madrid. Las Palmas de Gran Canaria.

García-Palomares, J. C. G., Javier (2013). "Walking accessibility to public transport: an analysis based on microdata and GIS." Environment and Planning B: Planning and Design **40**.

Gutiérrez, J. e. a. (2000). "Accesibilidad peatonal a la red dde metro de Madrid: efectos del Plan de Ampliación 1995-99." Anales de Geografía de la Universidad Complutense **20**: 451-464.

Gutiérrez, J. e. a. (2011). "Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression." Journal of Transport Geography **19**: 1081-1092.

Gutiérrez, J. G.-P., Juan Carlos (2008). "Distance-measure impacts on the calculation of transport service areas using GIS." Environment and Planning B: Planning and Design **35**: 480-503.

Hernández, A. (1995). Tipología de calles de Madrid. Madrid.

Kaplan, S. e. a. (2014). "Using connectivity for measuring equity in transit provision." Journal of Transport Geography **37**: 82-92.

Kimpel, T. e. a. (2007). "Using GIS to measure the effect of overlapping service areas on passenger boardings at bus stops." URISA Journal **19**(1).

Latorre, M. (2012). Localización óptima de bases de bicicletas públicas en Madrid, mediante los Sistemas de Información Geográfica. Tecnologías de la Información Geográfica. Madrid, Universidad Complutense de Madrid.

Li, F. e. a. (2005). "Multilevel modelling of built environment characteristics related to neighbourhood walking activity in older adults." J. Epidemiol Community Health **59**: 558-564.

Litman, T. (2010). Land use impacts on transport.

Litman, T. (2012). "Evaluating transportation land use impacts: considering the impacts, benefits and costs of different land use development patterns." Victoria Transport Policy Institute.

Magalhães, L. (2010). Melhorar a mobilidade pedonal em cidades de orografia desfavorável. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa. **Mestrado**.

Mamun, S. A., et al. (2013). "A method to define public transit opportunity space." Journal of Transport Geography **28**: 144-154.

Mavoa, S. e. a. (2012). "GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand." Journal of Transport Geography **20**: 15-22.

Moniruzzaman, M. P., Antonio (2012). "Accessibility to transit, by transit, and mode share: application of a logistic model with spatial filters." Journal of Transport Geography **24**: 198-205.

Murray, A. (2001). "Strategic analysis of public transport coverage." Socio-Economic Planning Sciences **35**: 175-188.

Murray, A. e. a. (1998). "Public Transportation Access." Transportation Research Part D: Transport and Environment **3**(5): 319-328.

Sung, H. e. a. (2014). "Exploring the impacts of land use by service coverage and station-level accessibility on rail transit ridership." Journal of Transport Geography **36**: 134-140.

Upchurch, C. e. a. (2004). "Using GIS to generate mutually exclusive service areas linking travel on and off a network." Journal of Transport Geography **12**: 23-33.

Vega Baez, L. A. (2006). Beneficios socio-ambientales de estrategias de movilidad sostenible en el centro de las ciudades: aplicación al caso de Madrid. Engenharia Civil Transportes. Madrid, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). **Doutoramento**.

Wu, C. M., Alan (2005). "Optimizing public transit quality and system access: the multiple-route, maximal covering/shortest-path problem." Environment and Planning B: Planning and Design **32**: 163-178.

## **Endereços Eletrônicos**

<http://www.metrodoporto.pt/>, acedido em Março de 2014.

<http://www.metromadrid.es/es/conocenos/infraestructuras/red/index.html>, acedido em Março de 2014.

<http://www.ign.es/ign/main/index.do>, acedido em Outubro de 2013.

<http://www.madrid.org/iestadis/>, acedido em Outubro de 2013.

# **Anexos**

**Anexo 1** - Variáveis dependentes e independentes utilizadas nos modelos de regressão anteriores, na estimação da utilização do transporte público, ao nível da estação (fonte: Gutiérrez et al., 2011).

Autor(es)	Variável dependente	Variáveis independentes <sup>21</sup>	Meio de transporte em análise	Área de estudo
Parsons Brinckerhoff (1996)	Entradas diárias na estação	Densidade populacional por acre bruto, dentro de uma distância de ½ milha da estação	Metro de superfície	11 regiões nos EUA e 2 regiões no Canada
		Densidade de empregos (Funcionários por acre bruto dentro de uma distância de 1/2 milha da estação)		
		Estação terminal 0 = não; 1 = sim		
		Parques de estacionamento 0 = não; 1 = sim		
		Serviços de autocarro alimentadores 0 = não; 1 = sim		
		Dimensão da área de serviço em função da distância em relação às estações adjacentes		
		Distância ao CBD em função da distância entre a estação e o CBD, ao longo da rota mais curta		
Kuby et al (2004)	Média de entradas na estação nos dias uteis	Emprego dentro de uma determinada distância pedonal	Metro de superfície	9 cidades nos EUA
		População dentro de uma determinada distância pedonal		
		Estações que servem terminais de aeroporto		
		Parques de estacionamento		
		Número de rotas de autocarro em interligação com a estação		
		Temperaturas mínimas e máximas diárias		
		Estação terminal		
		Estação de transferência		

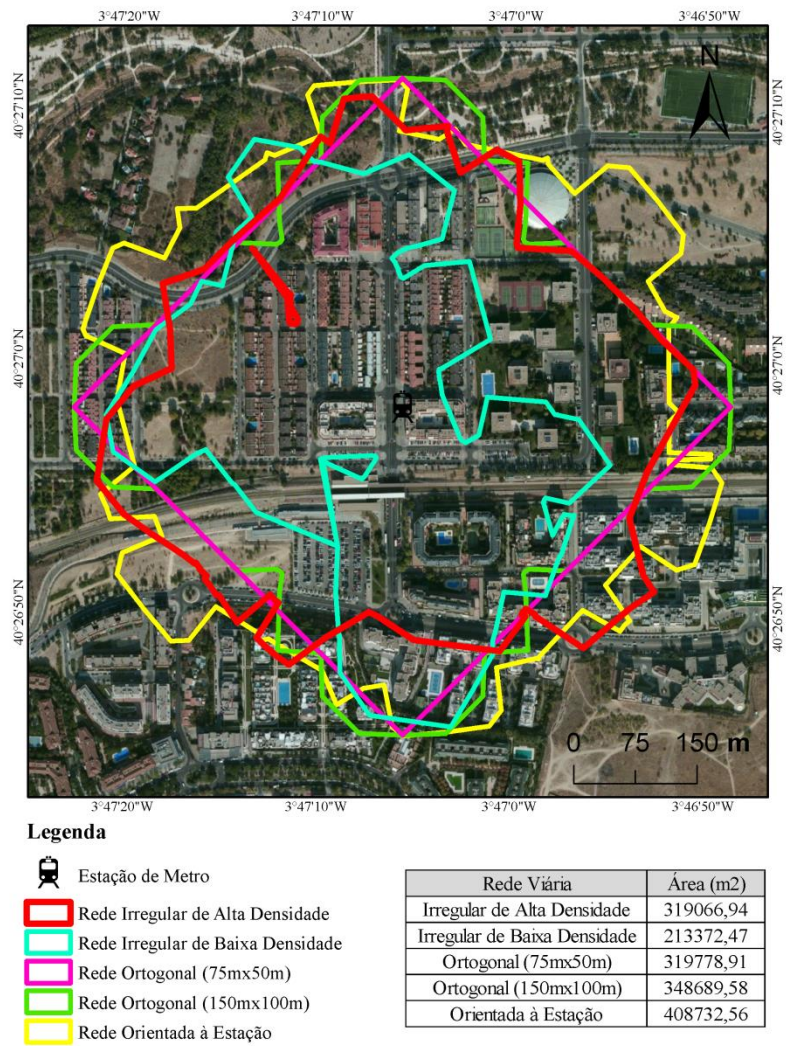
<sup>21</sup> Nesta tabela apenas estão incluídas as variáveis independentes incluídas no modelo final

		Acessibilidade normalizada		
		Percentagem de empregos públicos cobertos pelo sistema		
		Percentagem de inquilinos dentro de uma determinada distância pedonal		
Walters & Cervero (2003)	Entradas e saídas da estação no pico da manhã	Densidades populacionais e de emprego em torno das estações	Metro de superfície e comboio	São Francisco, Califórnia (EUA)
		Meio de transporte: metro de superfície vs. comboio		
		Frequência do serviço		
		População abrangida		
		Parques de estacionamento		
		Níveis de serviços alimentadores		
Chu (2004)	Entradas na estação nos dias uteis	Rendimento familiar médio na área abrangida	Autocarro	Jacksonville, Flórida (EUA)
		Empregos por rua na área abrangida		
		Residências sem veículo privado na área abrangida		
		Percentagem de pessoas com menos de 18 anos na área abrangida		
		Percentagem de pessoas com idade entre os 18 e os 64 anos na área abrangida		
		Percentagem de pessoas do sexo feminino na área abrangida		
		Percentagem de pessoas de etnia hispânica na área abrangida		
		Percentagem de pessoas de raça branca na área abrangida		
		TLOS dentro de uma distância de 100 metros		
		Fator pedestre (0-1)		
		População a montante e a jusante da estação a uma distância tempo de uma hora		
		Emprego a montante e a jusante		

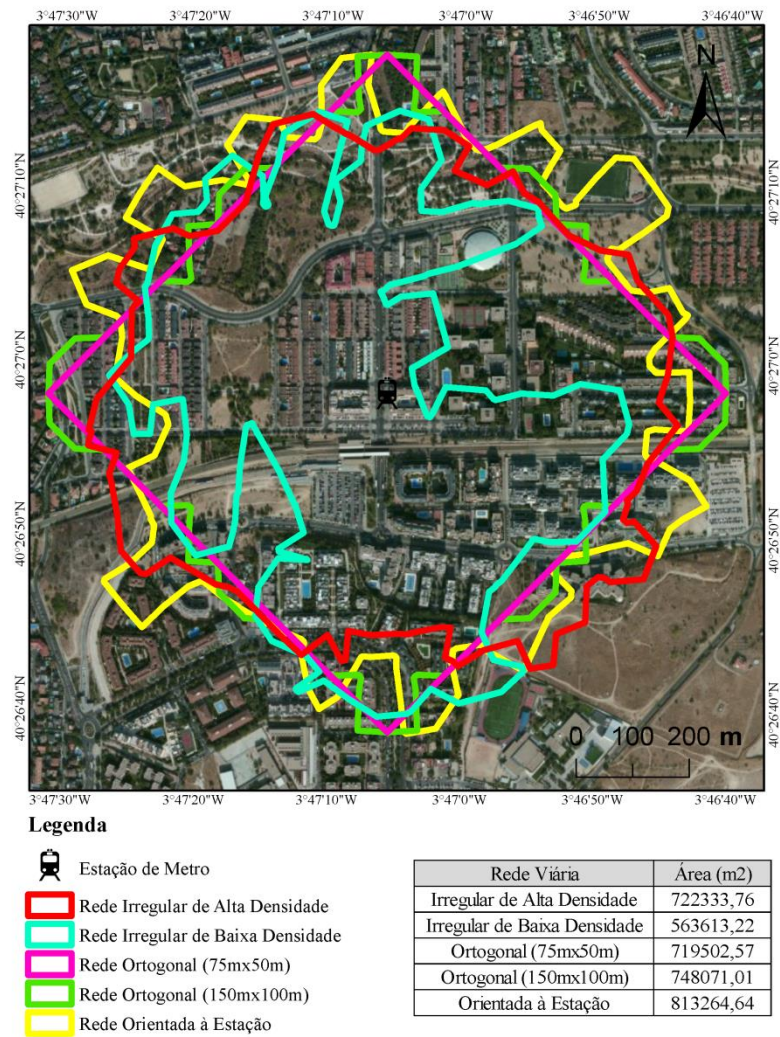


		da estação a uma distância tempo de uma hora		
		Número de outras paragens TLOS na área abrangida		

**Anexo 2** - Áreas de Serviço, das diferentes redes viárias fictícias, para o limite de distância de análise de 400 metros.



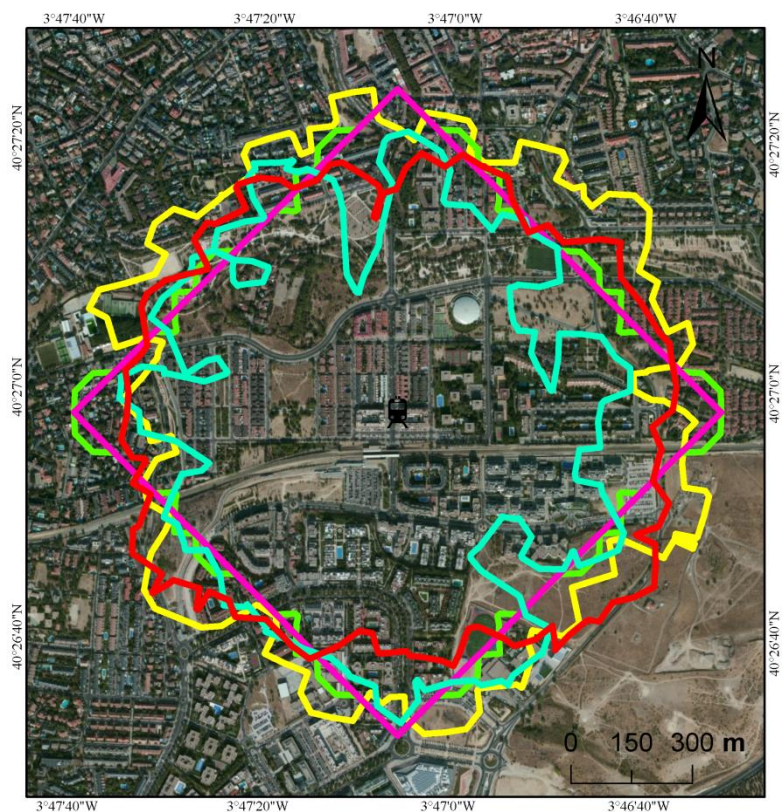
**Anexo 3** - Áreas de Serviço, das diferentes redes viárias fictícias, para o limite de distância de análise de 600 metros.





Fonte: Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid  
 Sistema de Coordenadas: ED\_1950\_UTM\_Zone\_30N  
 Projecção: Transverse Mercator

**Anexo 4** - Áreas de Serviço, das diferentes redes viárias fictícias, para o limite de distância de análise de 800 metros.





#### Legenda

-  Estação de Metro
-  Rede Irregular de Alta Densidade
-  Rede Irregular de Baixa Densidade
-  Rede Ortogonal (75mx50m)
-  Rede Ortogonal (150mx100m)
-  Rede Orientada à Estação

Rede Viária	Área (m2)
Irregular de Alta Densidade	1324532,21
Irregular de Baixa Densidade	1069420,46
Ortogonal (75mx50m)	1279115,67
Ortogonal (150mx100m)	1322266,22
Orientada à Estação	1579390,88

Fonte: Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid  
Sistema de Coordenadas: ED\_1950\_UTM\_Zone\_30N  
Projeção: Transverse Mercator

#### Anexo 5 - Cobertura espacial da rede irregular de alta densidade, por freguesias do município de Madrid.

Limite de distância de análise	Freguesia	Área		População		Emprego	
		Superfície coberta (km <sup>2</sup> )	% da freguesia coberta	População residente	% da freguesia coberta	Número de trabalhadores	% da freguesia coberta
400 metros	Centro	3,95	75,77	124372	86,92	109159	86,16
	Arganzuela	2,49	38,3	71643	47,08	25971	50,13
	Retiro	2,42	44,64	67063	54,98	25462	47,57
	Salamanca	3,40	63,07	98577	66,95	91923	67,42
	Chamartín	4,12	44,92	70488	48,31	68129	55,2
	Tetuán	2,29	42,69	71067	45,45	58301	58,78
	Chamberí	3,01	64,25	90245	62,85	76668	71,36
	Fuencarral – El Pardo	4,41	1,86	70687	35,30	12956	18,22
	Moncloa - Aravaca	3,36	7,23	42569	35,92	26995	34,74
	Latina	3,64	14,34	79872	32	10963	41,62
	Carabanchel	3,75	26,61	112583	47,3	16918	44,09
	Usera	1,41	18,12	28873	21,12	10219	41,41

	Puente de Vallecas	1,8	12,13	53252	22,13	10683	30,12
	Moratalaz	1,14	18,76	27212	26,95	4007	34,71
	Ciudad Lineal	3,67	32,1	104782	46,84	20704	32,3
	Hortaleza	4,23	15,48	56618	37,15	18576	34,66
	Villaverde	1,28	6,33	23893	16,8	5021	15,72
	Villa de Vallecas	1,70	3,31	24599	32,46	2856	9,71
	Vicálvaro	1,23	3,49	28400	43,22	3243	32,06
	San Blas - Canillejas	3,09	13,88	46341	30,57	12651	17,04
	Barajas	1,91	4,56	13906	33,16	9008	21,88
600 metros	Centro	4,79	91,88	140254	98,02	125572	99,11
	Arganzuela	4,40	67,64	108753	71,47	39823	76,87
	Retiro	4,25	78,28	109673	89,92	45391	84,81
	Salamanca	4,92	91,09	139840	94,98	131662	96,56
	Chamartín	7,30	79,57	126676	86,83	107652	87,22
	Tetuán	4,01	74,58	125656	80,36	90208	90,95
	Chamberí	4,47	95,47	138448	96,42	105437	98,14
	Fuencarral – El Pardo	8,94	3,76	127285	63,57	23426	32,94
	Moncloa - Aravaca	6,51	13,99	65670	55,41	40256	51,8
	Latina	6,98	27,48	141844	56,83	16380	62,19
	Carabanchel	7,00	49,72	175684	73,82	25722	67,04
	Usera	2,90	37,45	68198	49,89	16336	66,2
	Puente de Vallecas	3,18	21,27	87486	36,36	14386	40,56
	Moratalaz	2,50	40,99	57796	57,23	6793	58,85
	Ciudad Lineal	6,57	57,42	175225	78,33	37510	58,52
	Hortaleza	7,90	28,84	97953	64,28	33590	62,68
	Villaverde	2,89	14,32	59996	42,19	9966	31,2
	Villa de Vallecas	3,39	6,60	38691	51,06	4132	14,05
	Vicálvaro	2,39	6,79	47294	71,97	5841	57,74
	San Blas - Canillejas	6,34	28,50	98571	65,03	30233	40,73
800 metros	Barajas	4,21	10,04	22740	54,22	20364	49,46
	Centro	5,11	98,01	141877	99,15	126538	99,87
	Arganzuela	5,57	85,71	137209	90,17	48307	93,25
	Retiro	5,11	94,04	121215	99,38	53273	99,54
	Salamanca	5,27	97,59	147085	99,90	136254	99,93
	Chamartín	8,76	95,53	143648	98,46	121348	98,32
	Tetuán	4,90	91,29	147804	94,52	98218	99,03
	Chamberí	4,68	100	143584	100,00	107440	100
	Fuencarral – El Pardo	13,48	5,66	160123	79,96	41561	58,44
	Moncloa - Aravaca	9,73	20,92	78311	66,07	47136	60,65
	Latina	10,04	39,56	188222	75,41	19716	74,85
	Carabanchel	9,80	69,59	210421	88,41	32886	85,71
	Usera	4,26	54,91	93870	68,67	19542	79,2
	Puente de Vallecas	4,88	32,63	120083	49,90	20981	59,15
	Moratalaz	3,92	64,17	80111	79,33	9987	86,52
	Ciudad	8,47	74,11	203093	90,79	46575	72,66

	Lineal						
	Hortaleza	11,01	40,22	122573	80,43	42270	78,87
	Villaverde	5,03	24,93	94670	66,58	13781	43,14
	Villa de Vallecas	5,38	10,46	42455	56,03	5112	17,39
	Vicálvaro	3,79	10,75	56889	86,57	7294	72,1
	San Blas - Canillejas	9,34	41,97	130469	86,07	43862	59,09
	Barajas	7,39	17,62	30539	72,82	27971	67,94

**Anexo 6** - Cobertura espacial da rede irregular de baixa densidade, por freguesias do município de Madrid.

Limite de distância de análise	Freguesia	Área		População		Emprego	
		Superfície coberta (km <sup>2</sup> )	% da freguesia coberta	População residente	% da freguesia coberta	Número de trabalhadores	% da freguesia coberta
400 metros	Centro	3,20	61,30	98907	69,12	98207	77,51
	Arganzuela	1,78	27,45	52214	34,31	18094	34,93
	Retiro	1,61	29,59	44074	36,13	16679	31,16
	Salamanca	2,42	44,85	70044	47,57	68456	50,21
	Chamartín	2,77	30,19	45572	31,24	50210	40,68
	Tetuán	1,66	30,94	49203	31,46	37680	37,99
	Chamberí	2,14	45,67	64833	45,15	60803	56,59
	Fuencarral – El Pardo	2,99	1,26	45188	22,57	8268	11,63
	Moncloa - Aravaca	2,37	5,09	28809	24,31	21288	27,39
	Latina	2,46	9,69	48670	19,50	7403	28,11
	Carabanchel	2,50	17,77	76115	31,98	10837	28,24
	Usera	0,92	11,81	16104	11,78	6590	26,71
	Puente de Vallecas	1,26	8,44	34426	14,31	8799	24,81
	Moratalaz	0,75	12,31	17806	17,63	2904	25,16
	Ciudad Lineal	2,62	22,89	74999	33,53	15064	23,5
	Hortaleza	2,86	10,46	38413	25,21	15622	29,15
	Villaverde	0,85	4,23	14545	10,23	3849	12,05
	Villa de Vallecas	1,13	2,20	18270	24,11	1882	6,4
	Vicálvaro	0,85	2,40	20010	30,45	2125	21,01
	San Blas - Canillejas	1,99	8,93	31133	20,54	9055	12,2
	Barajas	1,28	3,05	8459	20,17	4923	11,96
600 metros	Centro	4,56	87,38	135981	95,03	120915	95,43
	Arganzuela	3,79	58,24	97152	63,84	36661	70,77
	Retiro	3,39	62,37	85329	69,96	34673	64,79
	Salamanca	4,24	78,48	122379	83,12	116797	85,66
	Chamartín	5,65	61,58	98359	67,42	89677	72,66
	Tetuán	3,26	60,66	100282	64,13	80690	81,35
	Chamberí	3,83	81,83	117464	81,80	95345	88,74
	Fuencarral – El Pardo	6,58	2,76	86708	43,30	20351	28,62
	Moncloa - Aravaca	5,16	11,09	50099	42,27	31962	41,13

	Latina	5,28	20,78	104471	41,86	12790	48,56
	Carabanchel	5,64	40,06	146397	61,51	19920	51,92
	Usera	2,10	27,14	45869	33,56	11245	45,57
	Puente de Vallecas	2,63	17,55	72615	30,18	13261	37,39
	Moratalaz	1,85	30,39	42523	42,11	5951	51,56
	Ciudad Lineal	5,46	47,73	148295	66,29	28183	43,97
	Hortaleza	5,95	21,74	75416	49,49	26272	49,02
	Villaverde	2,08	10,29	36635	25,77	8378	26,23
	Villa de Vallecas	2,49	4,84	31293	41,30	2918	9,93
	Vicálvaro	1,93	5,48	39987	60,85	4081	40,34
	San Blas - Canillejas	4,78	21,50	76409	50,41	20577	27,72
	Barajas	3,08	7,35	17389	41,46	9264	22,5
	Centro	5,05	96,90	141568	98,93	126520	99,86
800 metros	Arganzuela	5,25	80,77	129401	85,03	45847	88,5
	Retiro	4,87	89,67	115188	94,44	47587	88,91
	Salamanca	5,14	95,23	145651	98,93	134798	98,86
	Chamartín	8,12	88,53	136313	93,43	113548	92
	Tetuán	4,58	85,29	141098	90,23	97318	98,12
	Chamberí	4,67	99,77	142862	99,49	107302	99,87
	Fuencarral – El Pardo	11,53	4,85	140665	70,25	39862	56,05
	Moncloa - Aravaca	8,64	18,57	73832	62,29	45667	58,76
	Latina	9,00	35,44	171002	68,52	18321	69,56
	Carabanchel	9,03	64,15	199051	83,63	30155	78,59
	Usera	3,72	47,99	86625	63,37	18098	73,35
	Puente de Vallecas	4,47	29,86	112970	46,95	18787	52,96
	Moratalaz	3,49	57,17	71889	71,19	9068	78,56
	Ciudad Lineal	7,99	69,91	195177	87,25	44466	69,37
	Hortaleza	9,65	35,24	113930	74,76	39530	73,76
	Villaverde	3,99	19,78	70784	49,78	11891	37,22
	Villa de Vallecas	4,52	8,79	40699	53,71	4528	15,4
	Vicálvaro	3,41	9,69	55562	84,55	6597	65,21
	San Blas - Canillejas	8,42	37,84	121682	80,28	39247	52,87
	Barajas	6,00	14,29	27598	65,81	26455	64,26

**Anexo 7** - Cobertura espacial da rede ortogonal (75mx50m), por freguesias do município de Madrid.

Limite de distância de análise	Freguesia	Área		População		Emprego	
		Superfície coberta (km <sup>2</sup> )	% da freguesia coberta	População residente	% da freguesia coberta	Número de trabalhadores	% da freguesia coberta
400 metros	Centro	3,95	75,80	123952	86,62	110467	87,19
	Arganzuela	2,49	38,34	70163	46,11	23865	46,07
	Retiro	2,41	44,32	65582	53,77	24311	45,42
	Salamanca	3,37	62,45	98103	66,63	89626	65,73
	Chamartín	4,18	45,56	70317	48,20	70846	57,40

	Tetuán	2,28	42,49	70791	45,27	53080	53,52
	Chamberí	3,03	64,77	92424	64,37	78670	73,22
	Fuencarral – El Pardo	4,43	1,86	70275	35,09	13075	18,39
	Moncloa - Aravaca	3,35	7,19	40523	34,19	25991	33,44
	Latina	3,67	14,45	80055	32,08	11373	43,18
	Carabanchel	3,74	26,60	111180	46,71	17139	44,67
	Usera	1,39	17,98	26988	19,74	9514	38,56
	Puente de Vallecas	1,85	12,34	53801	22,36	10744	30,29
	Moratalaz	1,15	18,89	27831	27,56	3726	32,28
	Ciudad Lineal	3,70	32,33	105697	47,25	20833	32,50
	Hortaleza	4,25	15,52	57109	37,47	18648	34,80
	Villaverde	1,28	6,34	23420	16,47	5453	17,07
	Villa de Vallecas	1,72	3,33	25260	33,33	2703	9,19
	Vicálvaro	1,24	3,51	28232	42,96	2972	29,38
	San Blas - Canillejas	3,10	13,91	47654	31,44	14352	19,34
	Barajas	1,92	4,57	13580	32,38	8086	19,64
600 metros	Centro	4,79	91,76	140126	97,93	125158	98,78
	Arganzuela	4,38	67,31	109360	71,86	39338	75,94
	Retiro	4,24	78,09	108684	89,10	44355	82,88
	Salamanca	4,86	90,10	138651	94,17	128829	94,48
	Chamartín	7,16	78,04	124766	85,52	105716	85,66
	Tetuán	3,94	73,30	121974	78,00	88631	89,36
	Chamberí	4,40	93,93	136465	95,04	105684	98,37
	Fuencarral – El Pardo	8,93	3,75	126537	63,19	26138	36,75
	Moncloa - Aravaca	6,55	14,09	64031	54,03	39830	51,25
	Latina	6,95	27,36	141960	56,88	16062	60,98
	Carabanchel	6,98	49,61	176233	74,05	24624	64,18
	Usera	2,89	37,28	66263	48,47	15864	64,29
	Puente de Vallecas	3,25	21,76	90033	37,42	14854	41,88
	Moratalaz	2,55	41,84	59318	58,74	7425	64,32
	Ciudad Lineal	6,45	56,41	174162	77,85	34327	53,55
	Hortaleza	7,90	28,85	98349	64,53	34597	64,56
	Villaverde	2,83	14,05	56715	39,89	10062	31,50
	Villa de Vallecas	3,39	6,58	37618	49,64	3757	12,78
	Vicálvaro	2,45	6,95	48062	73,14	5590	55,26
	San Blas - Canillejas	6,42	28,85	99458	65,61	28720	38,69
800 metros	Barajas	4,16	9,91	22395	53,40	10998	26,71
	Centro	5,12	98,08	141728	99,05	126496	99,84
	Arganzuela	5,49	84,39	133499	87,73	47428	91,55
	Retiro	5,11	94,05	119230	97,75	51521	96,26
	Salamanca	5,28	97,79	147143	99,94	136350	100
	Chamartín	8,66	94,39	142308	97,54	118169	95,75
	Tetuán	4,92	91,55	147188	94,13	98116	98,92
	Chamberí	4,68	100,00	143584	100,00	107440	100
	Fuencarral – El Pardo	13,12	5,51	156262	78,04	43581	61,28

	Moncloa - Aravaca	9,64	20,73	77092	65,05	46945	60,41
	Latina	9,85	38,79	182675	73,19	18888	71,71
	Carabanchel	9,47	67,30	206565	86,79	31399	81,83
	Usera	4,13	53,22	90863	66,47	18875	76,49
	Puente de Vallecas	4,98	33,29	120782	50,19	20933	59,01
	Moratalaz	3,84	62,93	77160	76,41	9575	82,95
	Ciudad Lineal	8,22	71,87	199402	89,14	45862	71,55
	Hortaleza	10,81	39,47	121090	79,46	42036	78,44
	Villaverde	4,69	23,25	92197	64,84	13148	41,16
	Villa de Vallecas	5,21	10,12	42065	55,51	4995	16,99
	Vicálvaro	3,87	10,97	56860	86,53	7325	72,41
	San Blas - Canillejas	9,29	41,76	129629	85,52	44322	59,71
	Barajas	7,11	16,95	28866	68,83	26484	64,33

**Anexo 8** - Cobertura espacial da rede ortogonal (150mx100m), por freguesias do município de Madrid.

Limite de distância de análise	Freguesia	Área		População		Emprego	
		Superfície coberta (km <sup>2</sup> )	% da freguesia coberta	População residente	% da freguesia coberta	Número de trabalhadores	% da freguesia coberta
400 metros	Centro	4,08	78,14	126946	88,72	113496	89,58
	Arganzuela	2,70	41,51	73876	48,55	25425	49,08
	Retiro	2,60	47,84	70296	57,63	27758	51,86
	Salamanca	3,54	65,57	103481	70,28	94744	69,49
	Chamartín	4,47	48,72	76184	52,22	75196	60,93
	Tetuán	2,44	45,39	75828	48,49	56126	56,59
	Chamberí	3,20	68,27	98251	68,42	83961	78,15
	Fuencarral – El Pardo	4,78	2,01	75167	37,54	13474	18,95
	Moncloa - Aravaca	3,62	7,79	42493	35,85	28480	36,65
	Latina	3,97	15,65	86178	34,53	11802	44,81
	Carabanchel	4,02	28,54	117328	49,30	17277	45,03
	Usera	1,51	19,52	29918	21,89	9507	38,53
	Puente de Vallecas	1,97	13,19	57277	23,80	11107	31,31
	Moratalaz	1,26	20,57	30028	29,74	3927	34,02
	Ciudad Lineal	3,98	34,85	113671	50,81	22146	34,55
	Hortaleza	4,58	16,73	60662	39,81	19338	36,08
	Villaverde	1,40	6,92	25753	18,11	6304	19,73
	Villa de Vallecas	1,85	3,59	26883	35,48	2844	9,67
	Vicálvaro	1,34	3,80	30630	46,61	3302	32,64
	San Blas - Canillejas	3,37	15,14	52914	34,91	14892	20,06
	Barajas	2,09	4,99	14620	34,86	8857	21,51
600 metros	Centro	4,81	92,17	140174	97,96	125267	98,87
	Arganzuela	4,44	68,35	111504	73,27	40555	78,29
	Retiro	4,29	79,06	109202	89,53	45079	84,23
	Salamanca	4,9	90,7	139269	94,59	129842	95,23



	Chamartín	7,3	79,61	126997	87,05	107398	87,02
	Tetuán	4,04	75,25	124825	79,82	89871	90,61
	Chamberí	4,44	94,89	137747	95,93	105651	98,33
	Fuencarral – El Pardo	9,22	3,87	129595	64,72	27081	38,08
	Moncloa - Aravaca	6,74	14,5	65595	55,34	40359	51,93
	Latina	7,13	28,1	144554	57,92	16422	62,35
	Carabanchel	7,14	50,72	178571	75,03	25258	65,83
	Usera	2,97	38,28	67711	49,53	16059	65,08
	Puente de Vallecas	3,33	22,28	91445	38	15013	42,32
	Moratalaz	2,63	43,16	60892	60,3	7533	65,26
	Ciudad Lineal	6,57	57,45	176136	78,74	34722	54,17
	Hortaleza	8,09	29,56	100196	65,75	35032	65,37
	Villaverde	2,95	14,6	59166	41,61	10137	31,73
	Villa de Vallecas	3,49	6,77	38077	50,25	3582	12,18
	Vicálvaro	2,51	7,13	48638	74,01	5602	55,38
	San Blas - Canillejas	6,6	29,67	101336	66,85	29644	39,94
	Barajas	4,31	10,29	22739	54,22	11064	26,87
800 metros	Centro	5,14	98,49	141948	99,2	126496	99,84
	Arganzuela	5,56	85,5	135477	89,03	47927	92,52
	Retiro	5,16	95,01	119925	98,32	51993	97,15
	Salamanca	5,29	97,97	147150	99,94	136320	99,98
	Chamartín	8,71	95,02	142867	97,92	119293	96,66
	Tetuán	4,96	92,32	147942	94,61	98152	98,96
	Chamberí	4,68	100	143584	100	107440	100
	Fuencarral – El Pardo	13,38	5,62	157654	78,73	44409	62,45
	Moncloa - Aravaca	9,83	21,13	77852	65,69	47053	60,55
	Latina	10,03	39,52	184797	74,04	19023	72,22
	Carabanchel	9,62	68,36	208711	87,69	31471	82,02
	Usera	4,18	53,93	92007	67,31	19061	77,25
	Puente de Vallecas	5,1	34,08	122211	50,79	21077	59,42
	Moratalaz	3,92	64,18	78026	77,26	9569	82,9
	Ciudad Lineal	8,32	72,74	200468	89,61	44594	69,57
	Hortaleza	11	40,17	121653	79,83	42132	78,62
	Villaverde	4,83	23,93	93701	65,9	13491	42,23
	Villa de Vallecas	5,33	10,37	42289	55,81	5061	17,21
	Vicálvaro	3,96	11,24	57515	87,52	7436	73,51
	San Blas - Canillejas	9,44	42,44	129938	85,72	44212	59,56
	Barajas	7,34	17,49	29277	69,81	26767	65,02

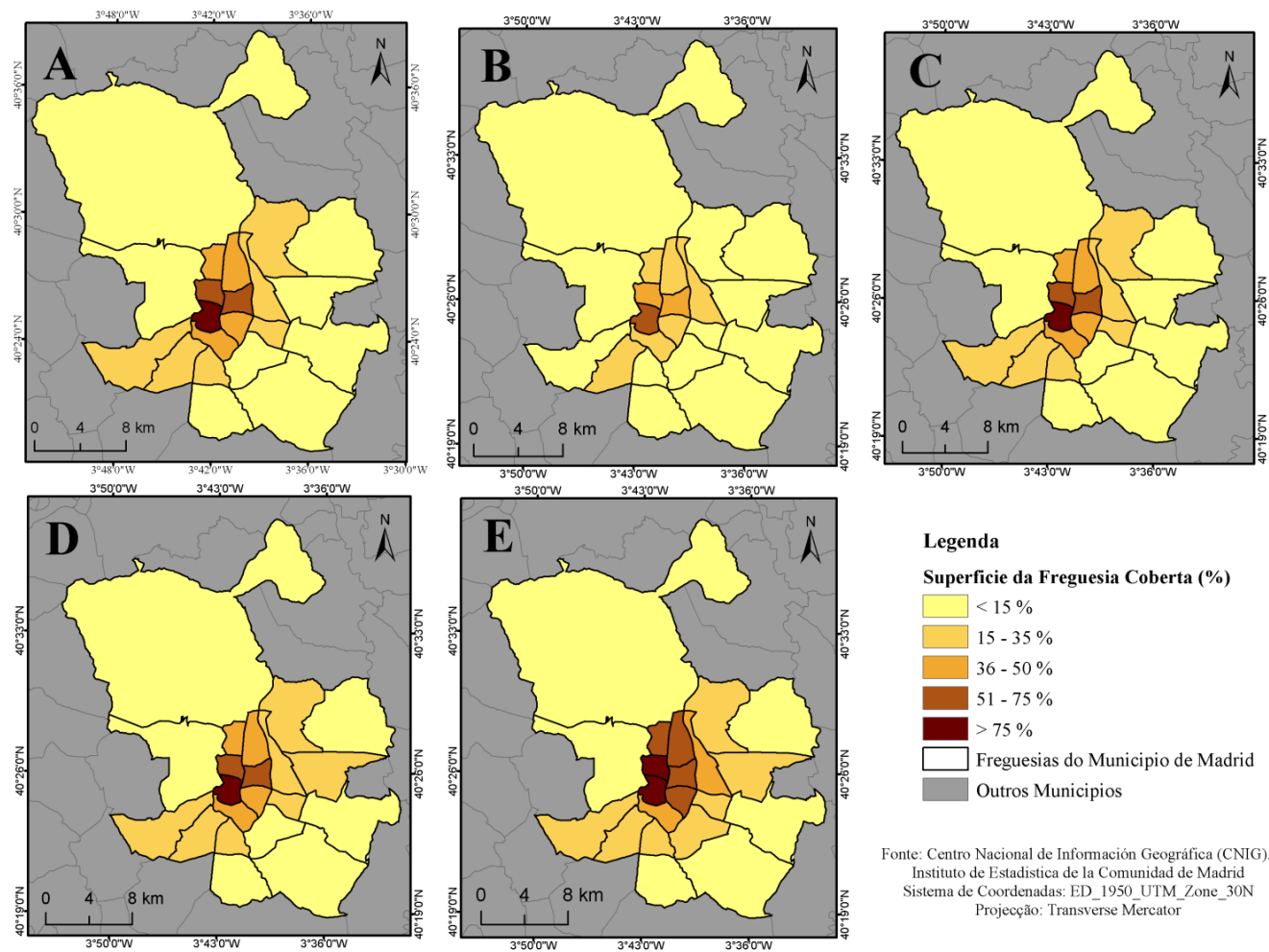
**Anexo 9** - Cobertura espacial da rede orientada à estação (150mx100m), por freguesias do município de Madrid.

Limite de distância de	Freguesia	Área	População	Emprego
------------------------	-----------	------	-----------	---------

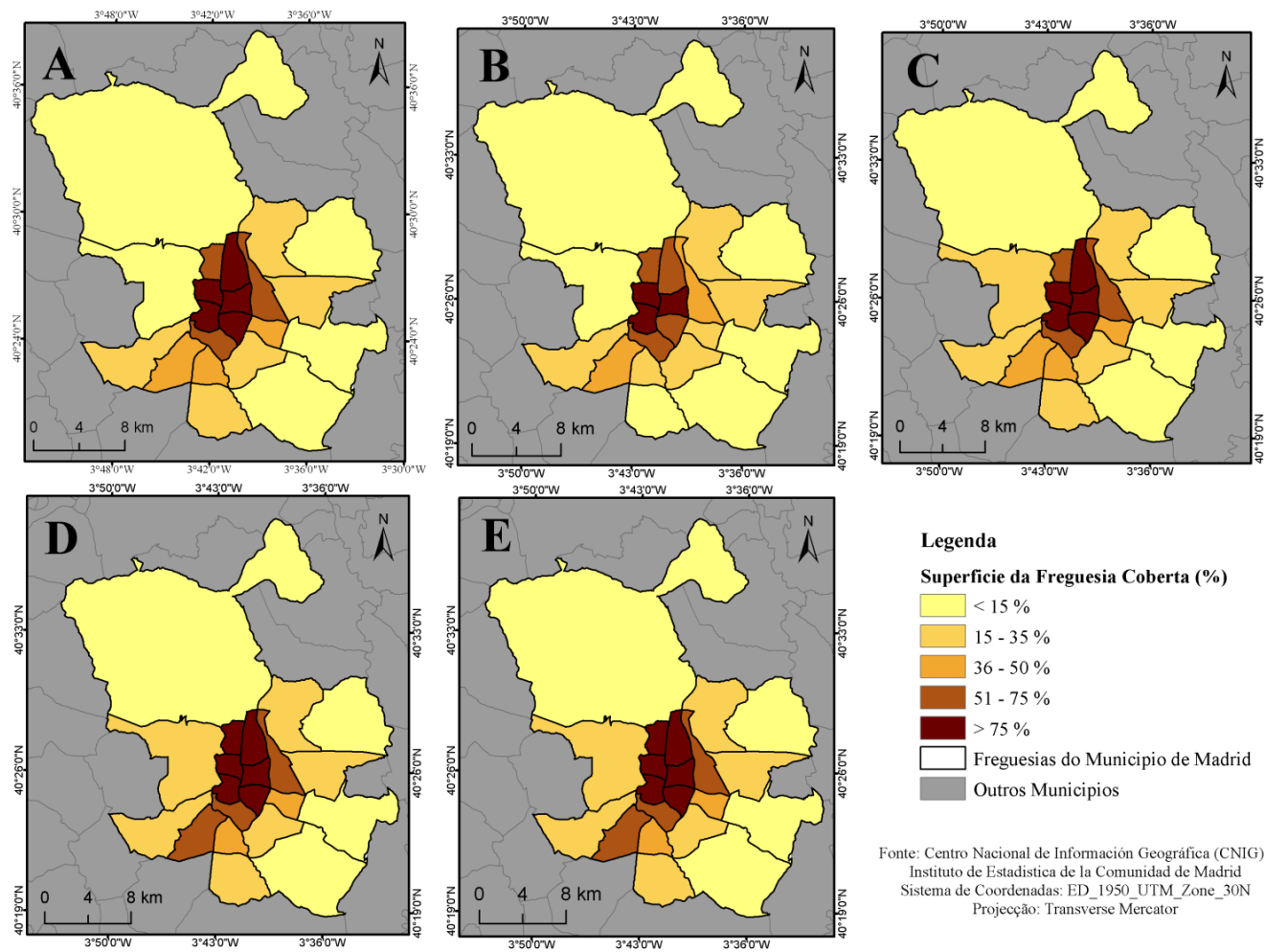
<b>análise</b>		<b>Superfície coberta (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da freguesia coberta</b>	<b>População residente</b>	<b>% da freguesia coberta</b>	<b>Número de trabalhadores</b>	<b>% da freguesia coberta</b>
400 metros	Centro	4,29	82,22	131503	91,9	116646	92,06
	Arganzuela	3,05	46,93	82807	54,42	31200	60,23
	Retiro	2,97	54,71	80442	65,95	30533	57,05
	Salamanca	3,95	73,17	114121	77,51	106195	77,88
	Chamartín	5,1	55,6	87526	59,99	81960	66,41
	Tetuán	2,78	51,66	85637	54,76	70285	70,86
	Chamberí	3,56	76,07	108218	75,37	92940	86,5
	Fuencarral – El Pardo	5,54	2,33	87702	43,8	16068	22,59
	Moncloa - Aravaca	4,16	8,95	48611	41,01	30801	39,63
	Latina	4,53	17,84	97787	39,18	12862	48,83
	Carabanchel	4,65	33,05	134402	56,47	20094	52,37
	Usera	1,78	22,95	38158	27,91	11200	45,39
	Puente de Vallecas	2,21	14,75	64810	26,93	12546	35,37
	Moratalaz	1,47	24,04	35512	35,17	4919	42,61
	Ciudad Lineal	4,52	39,57	130208	58,21	25177	39,28
	Hortaleza	5,23	19,09	69669	45,72	23583	44
	Villaverde	1,63	8,1	30676	21,57	6314	19,77
	Villa de Vallecas	2,13	4,15	28976	38,24	2970	10,1
	Vicálvaro	1,53	4,35	32857	50	3883	38,38
	San Blas - Canillejas	3,9	17,54	61254	40,41	17069	23
	Barajas	2,44	5,82	16171	38,56	9621	23,37
600 metros	Centro	4,86	93,21	140296	98,05	125997	99,45
	Arganzuela	4,6	70,68	112338	73,82	43020	83,05
	Retiro	4,48	82,44	112472	92,21	47280	88,34
	Salamanca	5,03	93,16	142342	96,68	133032	97,57
	Chamartín	7,65	83,45	131737	90,29	111478	90,32
	Tetuán	4,2	78,24	129444	82,78	93443	94,21
	Chamberí	4,59	98,1	141268	98,38	106610	99,23
	Fuencarral – El Pardo	9,76	4,1	130352	65,1	28683	40,33
	Moncloa - Aravaca	7,09	15,23	66778	56,34	40115	51,62
	Latina	7,52	29,63	154208	61,79	17037	64,68
	Carabanchel	7,52	53,39	184395	77,48	27133	70,71
	Usera	3,11	40,09	71186	52,08	16944	68,67
	Puente de Vallecas	3,6	24,03	97820	40,65	15980	45,05
	Moratalaz	2,8	45,87	63351	62,73	7177	62,18
	Ciudad Lineal	6,93	60,62	182316	81,5	39889	62,23
	Hortaleza	8,58	31,32	105901	69,49	36027	67,22
	Villaverde	3,23	16	67262	47,3	10511	32,9
	Villa de Vallecas	3,75	7,3	38862	51,28	4222	14,36
	Vicálvaro	2,71	7,7	50103	76,24	6147	60,77
	San Blas - Canillejas	7,02	31,57	107406	70,86	30884	41,61
	Barajas	4,71	11,22	23471	55,97	12349	30
800 metros	Centro	5,21	99,92	142979	99,92	126640	99,95

	Arganzuela	6,07	93,35	148082	97,31	50933	98,32
	Retiro	5,42	99,78	121967	99,99	53520	100
	Salamanca	5,36	99,2	147231	100	136350	100
	Chamartín	9,07	98,93	145762	99,91	123390	99,98
	Tetuán	5,23	97,33	153977	98,47	98692	99,5
	Chamberí	4,68	100	143584	100	107440	100
	Fuencarral – El Pardo	15,94	6,7	170149	84,97	52317	73,57
	Moncloa - Aravaca	11,45	24,61	80778	68,16	49897	64,21
	Latina	11,78	46,4	206480	82,73	21448	81,43
	Carabanchel	11,29	80,23	231266	97,17	36489	95,1
	Usera	4,91	63,3	106259	77,73	20952	84,91
	Puente de Vallecas	6,28	41,95	140742	58,49	23318	65,74
	Moratalaz	4,9	80,25	90478	89,60	10825	93,78
	Ciudad Lineal	9,62	84,14	214148	95,73	53246	83,07
	Hortaleza	12,73	46,5	130196	85,43	45807	85,47
	Villaverde	6	29,74	106795	75,11	16797	52,58
	Villa de Vallecas	6,68	12,99	46078	60,81	5541	18,85
	Vicálvaro	4,88	13,84	61133	93,03	7880	77,9
	San Blas - Canillejas	10,98	49,36	139678	92,15	52039	70,11
	Barajas	9,13	21,76	35806	85,38	30040	72,97

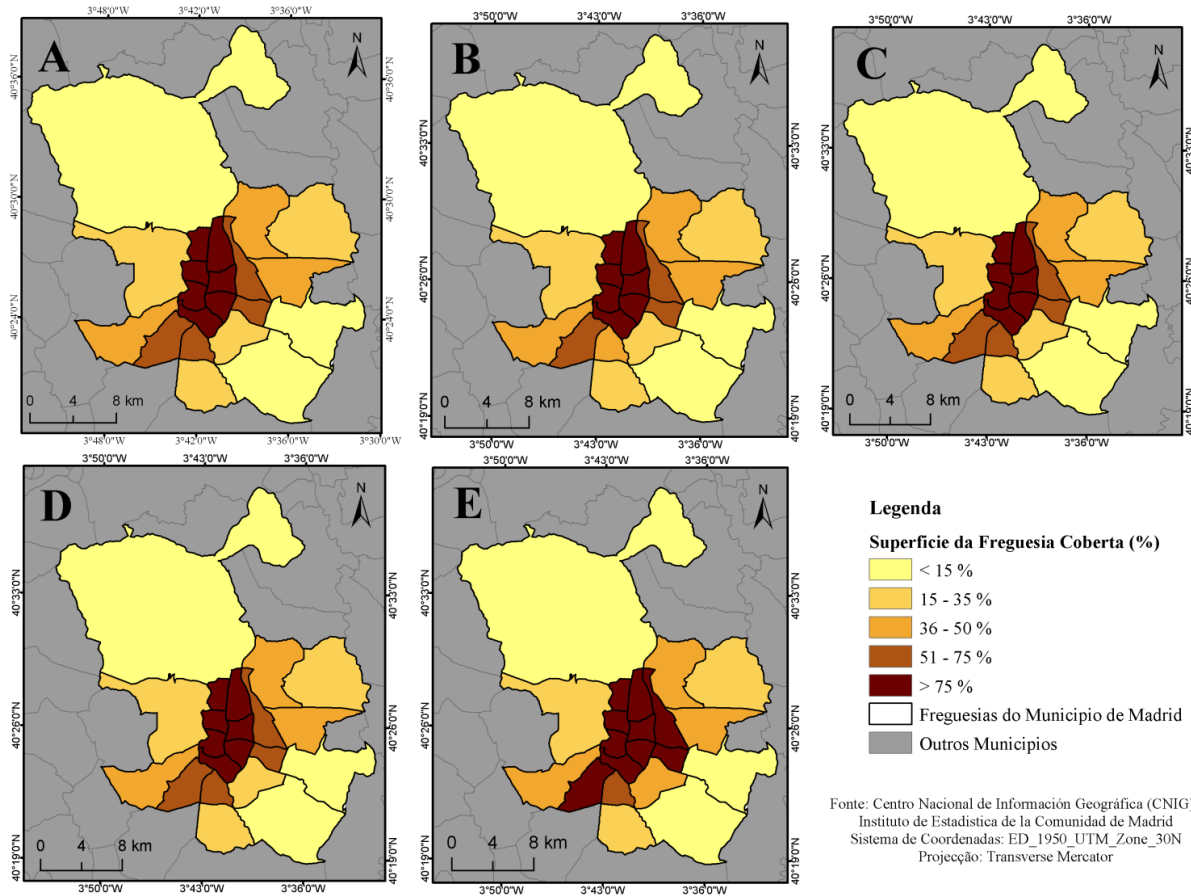
**Anexo 10** - Diferenças na superfície coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 400 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



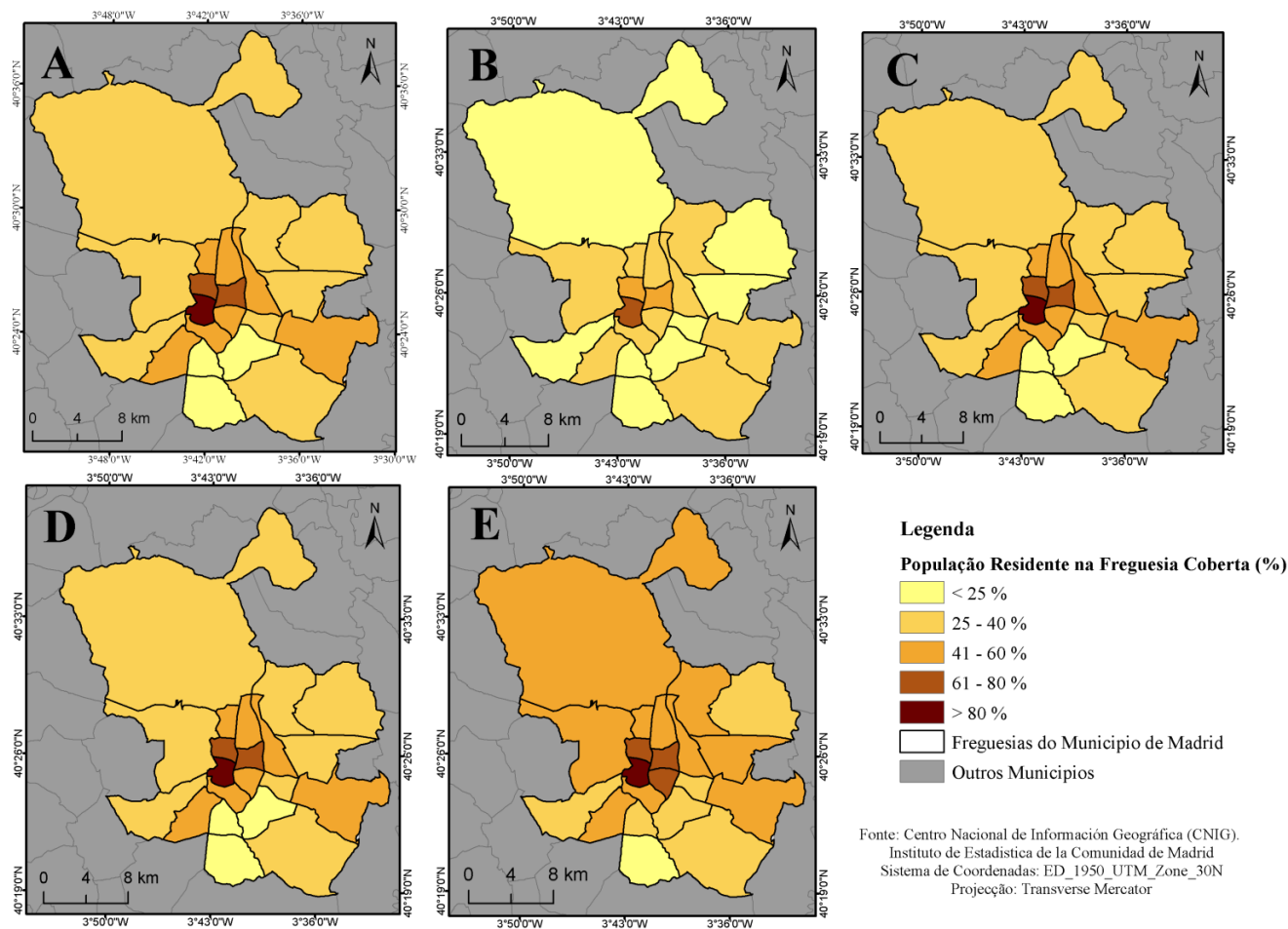
**Anexo 11** - Diferenças na superfície coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 600 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



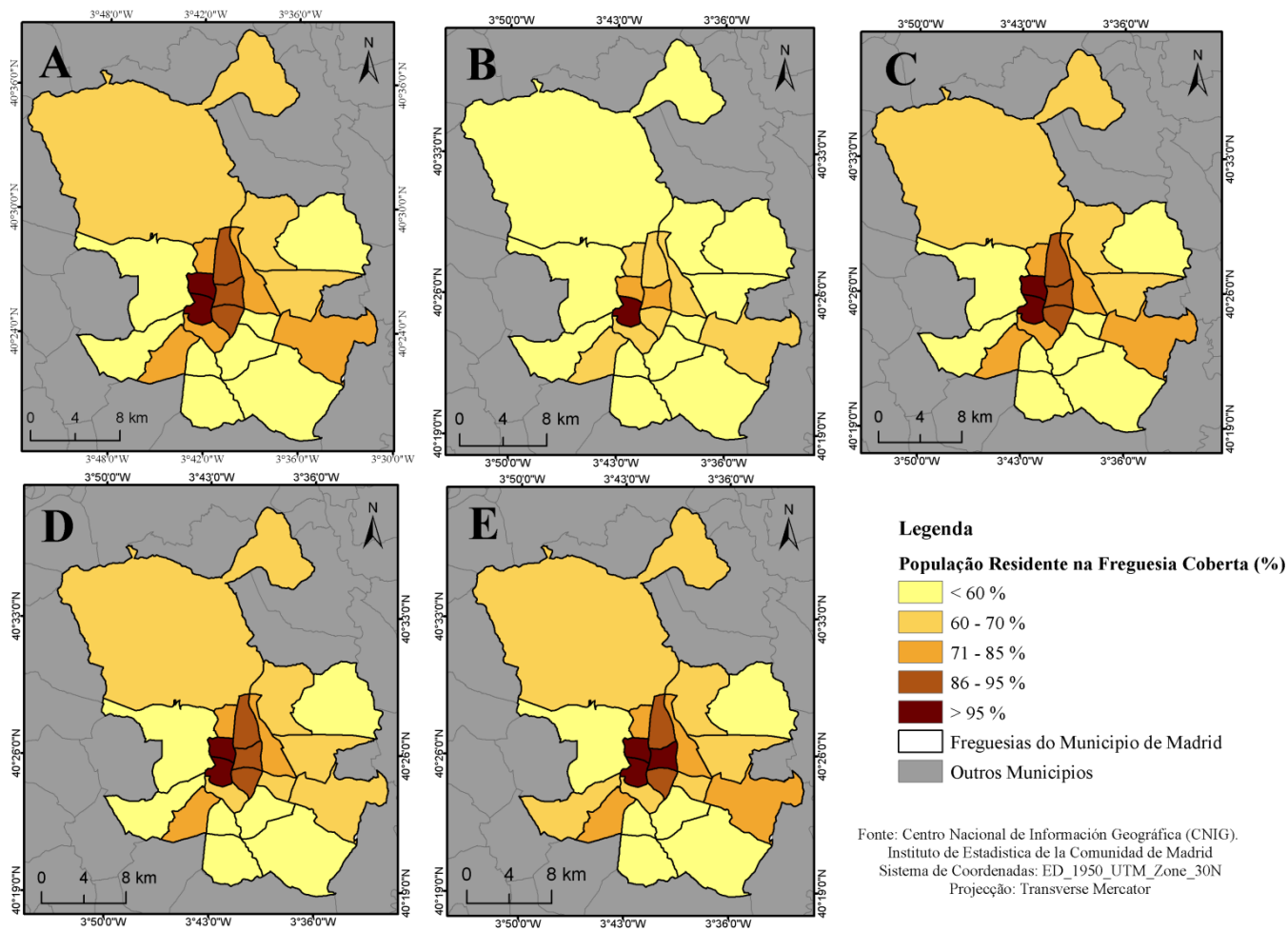
Anexo 12 - Diferenças na superfície coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 800 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



**Anexo 13** - Diferenças na população residente coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 400 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).

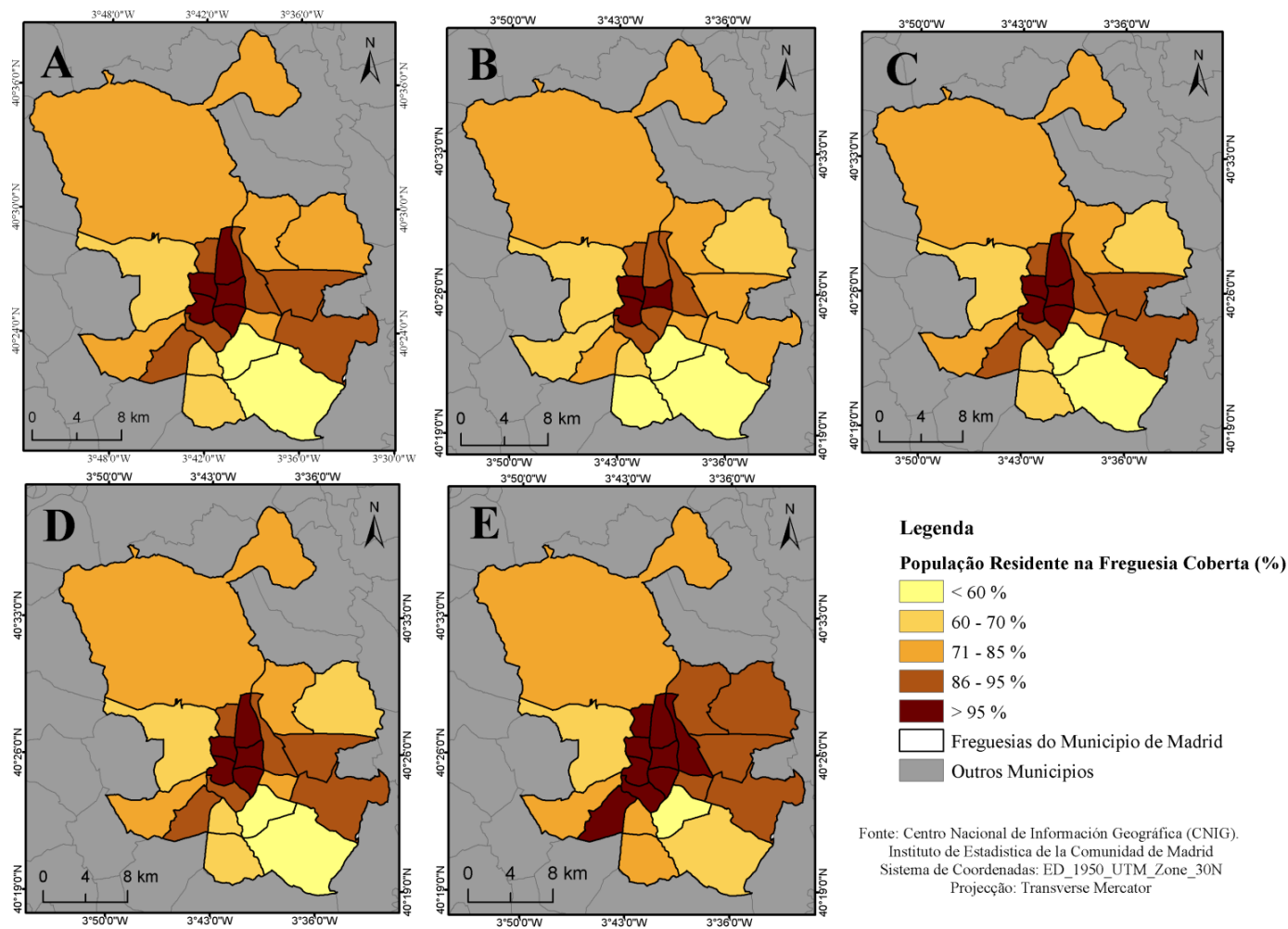


**Anexo 14** - Diferenças na população residente coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 600 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).

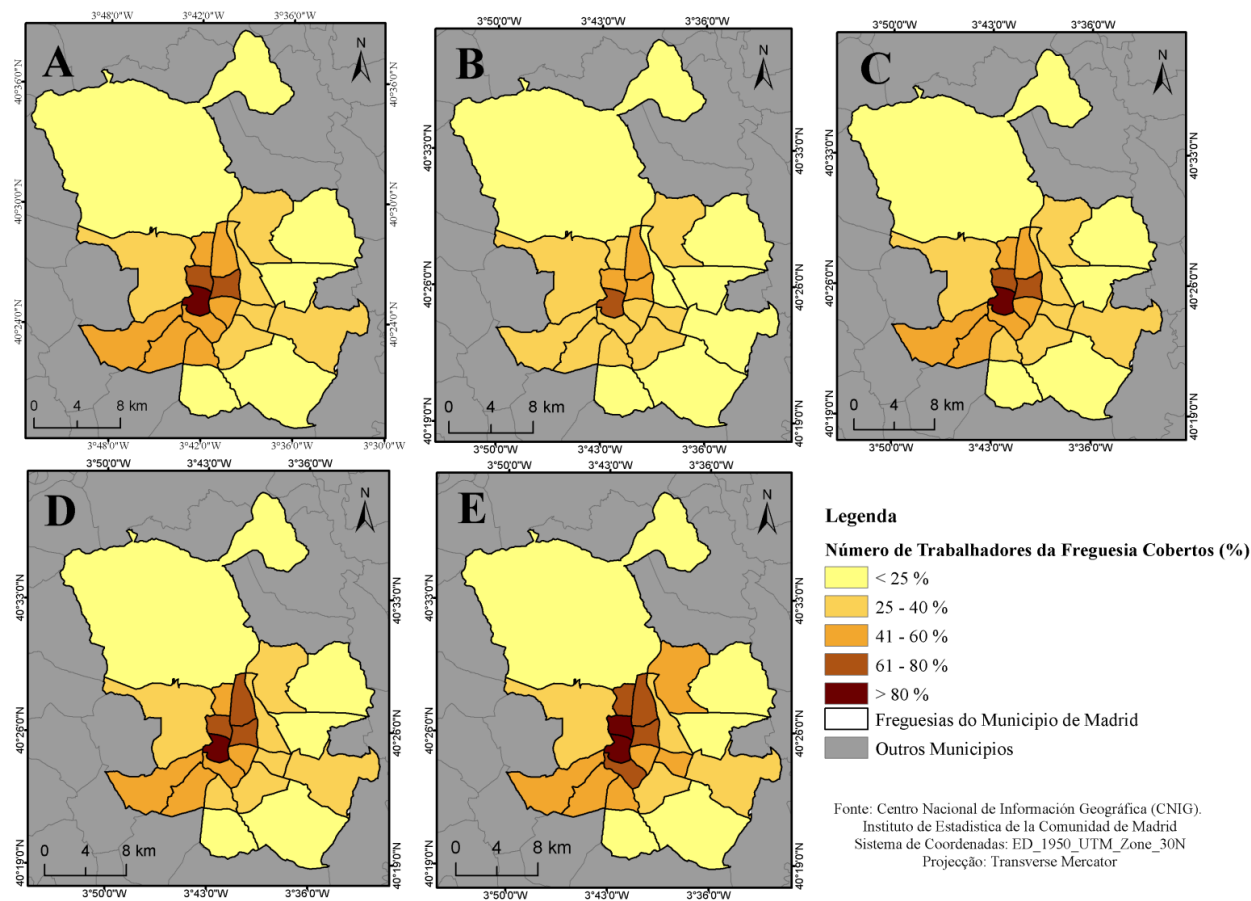




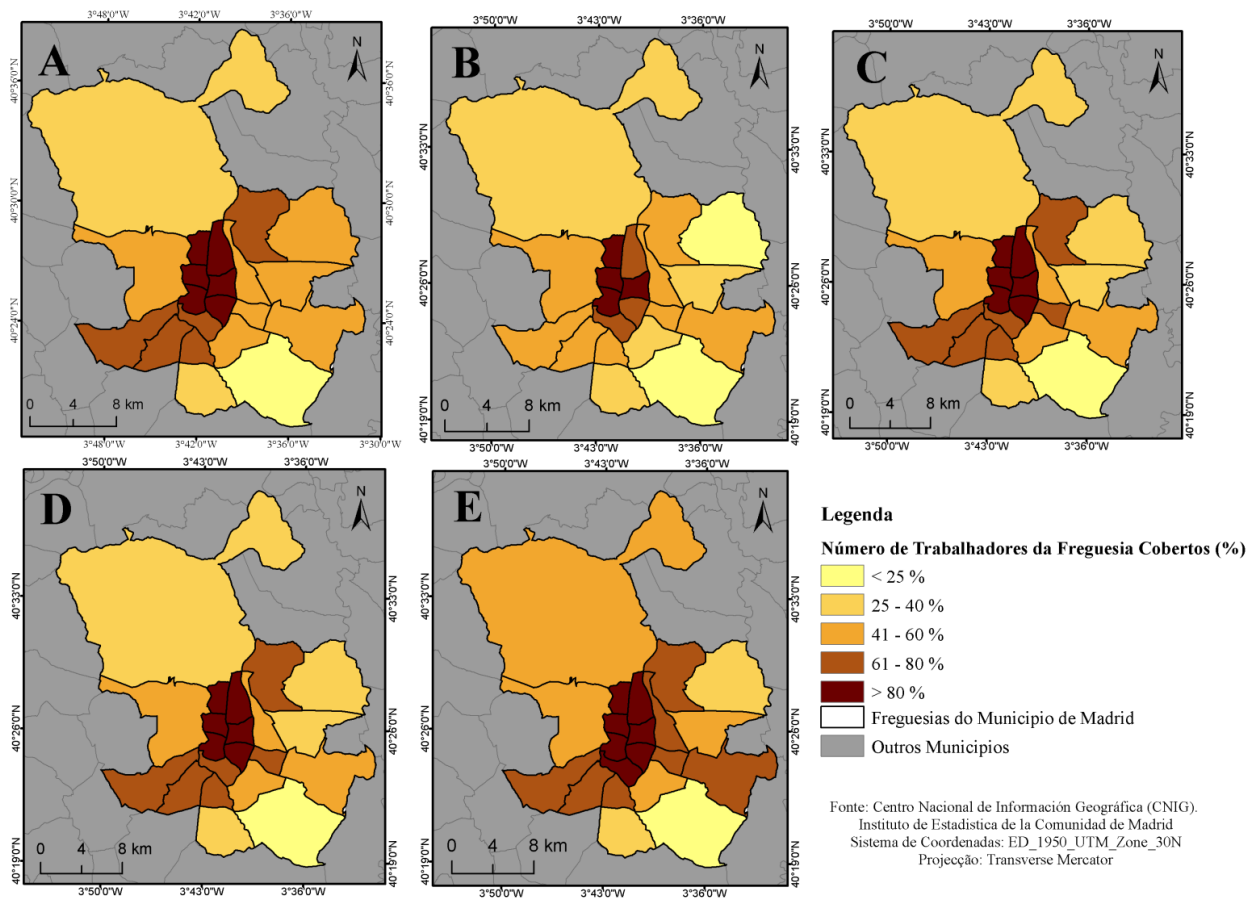
**Anexo 15** - Diferenças na população residente coberta, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 800 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



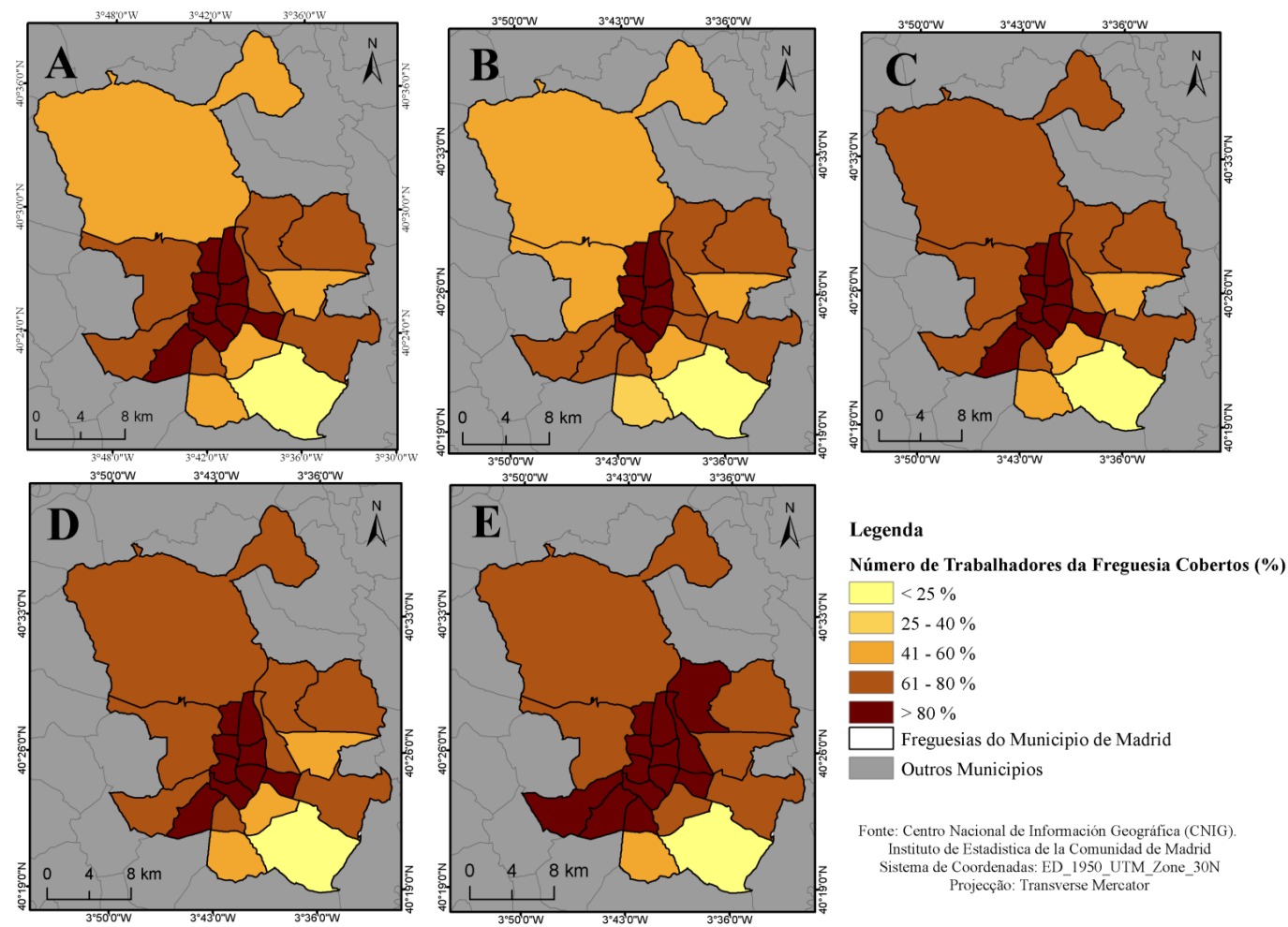
**Anexo 16** - Diferenças no número de trabalhadores cobertos, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 400 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



**Anexo 17** - Diferenças no número de trabalhadores cobertos, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 600 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



**Anexo 18** - Diferenças no número de trabalhadores cobertos, por freguesias do município de Madrid, entre as diferentes redes fictícias para o limite de distância de análise de 800 metros: Irregular de Alta Densidade (A), Irregular de Baixa Densidade (B), Ortogonal (75mx50m) (C), Ortogonal (150mx100m) (D) e Orientada à Estação (E).



**Anexo 19** - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede irregular de alta densidade.

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$P_i$ (0-14anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (0-14anos)	$P_i$ (15-24anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (15-24anos)	$P_i$ (25-64anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (25-64anos)	$P_i$ (65ou mais anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (65ou mais anos)
100	0,5	1	7892	7892	6029	6029	40887	40887	14185	14185
200	0,46	0,93	26098	24271	19734	18353	134349	124945	45950	42734
300	0,43	0,86	45080	38769	33442	28760	226164	194501	75916	65288
400	0,39	0,79	59337	46876	43117	34062	285927	225882	97274	76846
500	0,36	0,72	65005	46804	47318	34069	303602	218593	107783	77604
600	0,32	0,65	48933	31806	34825	22636	218466	142003	77589	50433
700	0,29	0,59	35514	20953	25497	15043	155501	91746	54746	32300
800	0,26	0,52	24316	12644	17805	9259	103974	54066	35566	18494
900	0,22	0,45	22155	9970	15954	7179	91349	41107	29467	13260
1000	0,19	0,38	14712	5591	10419	3959	59525	22620	18833	7157
1100	0,15	0,31	10798	3347	7663	2376	41811	12961	12834	3979
1200	0,12	0,24	8480	2035	5698	1368	30560	7334	8614	2067
$\Sigma(R_{max}/R_i)P$			250959		183093		1176646		404346	
$\Sigma P_i$			368320		267501		1692115		578757	
$AQ$			0,68		0,68		0,7		0,7	

**Anexo 20** - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede irregular de baixa densidade.

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$P_i$ (0-14anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (0-14anos)	$P_i$ (15-24anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (15-24anos)	$P_i$ (25-64anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (25-64anos)	$P_i$ (65ou mais anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (65ou mais anos)
100	0,5	1	6213	6213	4732	4732	32092	32092	11099	11099
200	0,46	0,93	11946	11110	9008	8377	61626	57312	20966	19498
300	0,43	0,86	21916	18848	16163	13900	110398	94942	36655	31523
400	0,39	0,79	39671	31340	28947	22868	194880	153955	65277	51569
500	0,36	0,72	43422	31264	31425	22626	208581	150178	71723	51641
600	0,32	0,65	36311	23602	26477	17210	172517	112136	60060	39039
700	0,29	0,59	61154	36081	44241	26102	281887	166313	98267	57978
800	0,26	0,52	50222	26115	36572	19017	224883	116939	80921	42079
900	0,22	0,45	31921	14364	23216	10447	138859	62487	48302	21736
1000	0,19	0,38	17531	6662	12789	4860	74243	28212	25341	9630
1100	0,15	0,31	11729	3636	8534	2646	47839	14830	15737	4878
1200	0,12	0,24	9844	2363	6691	1606	38750	9300	12008	2882
$\Sigma(R_{max}/R_i)P$			211598		154392		998698		343551	
$\Sigma P_i$			341880		248795		1586555		546356	
$AQ$			0,62		0,62		0,63		0,63	

**Anexo 21** - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede ortogonal (75mx50m).

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$P_i$ (0-14anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (0-14 anos)	$P_i$ (15-24anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (15-24 anos)	$P_i$ (25-64anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (25-64 anos)	$P_i$ (65 ou mais anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (65 ou mais anos)
100	0,5	1	11144	11144	8534	8534	57982	57982	20096	20096
200	0,46	0,93	33522	31175	25188	23425	171453	159451	58202	54128
300	0,43	0,86	52038	44753	38296	32935	257874	221772	86608	74483
400	0,39	0,79	63066	49822	45872	36239	301794	238417	104637	82663
500	0,36	0,72	58637	42219	42441	30558	269713	194193	97148	69947
600	0,32	0,65	45772	29752	32770	21301	203283	132134	71510	46482
700	0,29	0,59	32272	19040	23214	13696	139348	82215	47859	28237
800	0,26	0,52	22547	11724	16311	8482	95111	49458	31572	16417
900	0,22	0,45	18158	8171	13278	5975	75939	34173	24997	11249
1000	0,19	0,38	14867	5649	10882	4135	59967	22787	18797	7143
1100	0,15	0,31	9992	3098	6900	2139	37916	11754	11244	3486
1200	0,12	0,24	7215	1732	4751	1140	25706	6169	7009	1682
$\Sigma(R_{max}/R_i)P$			258279		188558		1210506		416012	
$\Sigma P_i$			369230		268437		1696086		579679	
$AQ$			0,7		0,7		0,71		0,72	

**Anexo 22** - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede ortogonal (150mx100m).

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$P_i$ (0-14anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (0-14 anos)	$P_i$ (15-24anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (15-24 anos)	$P_i$ (25-64anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (25-64 anos)	$P_i$ (65 ou mais anos)	$(R_{max}/R_i)P_i$ (65 ou mais anos)
100	0,5	1	7461	7461	5694	5694	38896	38896	13515	13515
200	0,46	0,93	21039	19566	15747	14645	107385	99868	36306	33765
300	0,43	0,86	43904	37757	32462	27917	219765	188998	74163	63780
400	0,39	0,79	62965	49742	46250	36538	307208	242694	105276	83168
500	0,36	0,72	58108	41838	42111	30320	271109	195198	95990	69113
600	0,32	0,65	51149	33247	36776	23904	230312	149703	82083	53354
700	0,29	0,59	37792	22297	27208	16053	165336	97548	57771	34085
800	0,26	0,52	25260	13135	18165	9446	107496	55898	36262	18856
900	0,22	0,45	19725	8876	14315	6442	82518	37133	27153	12219
1000	0,19	0,38	16127	6128	11836	4498	66304	25196	21107	8021
1100	0,15	0,31	11460	3553	8047	2495	44512	13799	13568	4206
1200	0,12	0,24	7955	1909	5385	1292	29222	7013	8211	1971
$\Sigma(R_{max}/R_i)P$			245510		179243		1151944		396052	
$\Sigma P_i$			362945		263996		1670063		571405	
$AQ$			0,68		0,68		0,69		0,69	

**Anexo 23** - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede orientada à estação.

<b>Distância à estação (metros)</b>	<b>Ri</b>	<b>Rmax/Ri</b>	<b>Pi (0-14anos)</b>	<b>(Rmax/Ri)Pi (0-14 anos)</b>	<b>Pi (15-24anos)</b>	<b>(Rmax/Ri)Pi (15-24 anos)</b>	<b>Pi (25-64anos)</b>	<b>(Rmax/Ri)Pi (25-64 anos)</b>	<b>Pi (65ou mais anos)</b>	<b>(Rmax/Ri)Pi (65ou mais anos)</b>
100	0,5	1	12861	12861	9866	9866	67421	67421	23255	23255
200	0,46	0,93	44474	41361	33468	31125	228353	212368	77182	71779
300	0,43	0,86	70826	60910	51975	44699	347013	298431	117753	101268
400	0,39	0,79	75084	59316	54533	43081	350803	277134	124553	98397
500	0,36	0,72	57840	41645	41313	29745	257053	185078	92205	66388
600	0,32	0,65	38217	24841	27535	17898	164312	106803	56789	36913
700	0,29	0,59	26172	15441	19039	11233	110475	65180	36646	21621
800	0,26	0,52	19528	10155	14097	7330	79765	41478	25133	13069
900	0,22	0,45	12543	5644	8733	3930	48824	21971	15162	6823
1000	0,19	0,38	8866	3369	5966	2267	32335	12287	8963	3406
1100	0,15	0,31	7671	2378	4968	1540	26285	8148	7090	2198
1200	0,12	0,24	6555	1573	4052	972	22127	5310	5379	1291
$\Sigma(Rmax/Ri)P$			279495		203687		1301611		446407	
$\Sigma Pi$			380637		275545		1734766		590110	
<b>AQ</b>			0,73		0,74		0,75		0,76	

**Anexo 24** - Índice de qualidade de acesso da população residente, por grupo etário, para a rede actual do município de Madrid.

<b>Distância à estação (metros)</b>	<b>Ri</b>	<b>Rmax/Ri</b>	<b>Pi (0-14anos)</b>	<b>(Rmax/Ri)Pi (0-14 anos)</b>	<b>Pi (15-24anos)</b>	<b>(Rmax/Ri)Pi (15-24 anos)</b>	<b>Pi (25-64anos)</b>	<b>(Rmax/Ri)Pi (25-64 anos)</b>	<b>Pi ( 65 ou mais anos)</b>	<b>(Rmax/Ri)Pi (65 ou mais anos)</b>
100	0,5	1	6943	6943	5267	5267	36313	36313	12381	12381
200	0,46	0,93	25063	23309	18683	17375	129357	120302	42804	39808
300	0,43	0,86	43328	37262	32672	28098	221708	190669	74169	63785
400	0,39	0,79	54659	43181	40218	31772	267402	211248	91937	72630
500	0,36	0,72	54037	38907	39134	28176	251715	181235	88831	63958
600	0,32	0,65	46622	30304	33391	21704	211014	137159	75778	49256
700	0,29	0,59	37712	22250	26877	15857	165957	97915	59010	34816
800	0,26	0,52	26403	13730	18855	9805	112810	58661	38628	20087
900	0,22	0,45	21080	9486	15098	6794	88694	39912	29916	13462
1000	0,19	0,38	16747	6364	11994	4558	70136	26652	23391	8889
1100	0,15	0,31	13039	4042	9576	2969	53997	16739	17791	5515
1200	0,12	0,24	13239	3177	9431	2263	51607	12386	15746	3779
$\Sigma(Rmax/Ri)P$			238954		174639		1129190		388366	
$\Sigma Pi$			358872		261196		1660710		570382	
<b>AQ</b>			0,67		0,67		0,68		0,68	

**Anexo 25** - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede irregular de alta densidade.

	Grupo Etário				Total
	0 – 14 anos	15 – 24 anos	25 – 64 anos	65 ou mais anos	
<i>AQ</i>	0,68	0,68	0,7	0,7	0,69
<i>P</i>	368.320	267.501	1.692.115	578.757	2.906.693
<i>SA</i>	250.458	181.901	1.184.481	405.130	2.005.618

**Anexo 26** - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede irregular de baixa densidade.

	Grupo Etário				Total
	0 – 14 anos	15 – 24 anos	25 – 64 anos	65 ou mais anos	
<i>AQ</i>	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63
<i>P</i>	341.880	248.795	1.586.555	546.356	2.723.586
<i>SA</i>	211.966	154.253	999.530	344.204	1.715.859

**Anexo 27** - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede ortogonal (75mx50m).

	Grupo Etário				Total
	0 – 14 anos	15 – 24 anos	25 – 64 anos	65 ou mais anos	
<i>AQ</i>	0,7	0,7	0,71	0,72	0,71
<i>P</i>	369.230	268.437	1.696.086	579.679	2.913.432
<i>SA</i>	258.461	187.906	1.204.221	417.369	2.068.537

**Anexo 28** - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede ortogonal (150mx100m).

	Grupo Etário				Total
	0 – 14 anos	15 – 24 anos	25 – 64 anos	65 ou mais anos	
<i>AQ</i>	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69
<i>P</i>	362.945	263.996	1.670.063	571.405	2.868.409
<i>SA</i>	246.803	179.517	1.152.343	394.269	1.979.202



**Anexo 29** - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede orientada à estação (150mx100m).

	Grupo Etário				Total
	0 – 14 anos	15 – 24 anos	25 – 64 anos	65 ou mais anos	
<i>AQ</i>	0,73	0,74	0,75	0,76	0,75
<i>P</i>	380.637	275.545	1.734.766	590.110	2.981.058
<i>SA</i>	277.865	203.903	1.301.075	448.484	2.235.794

**Anexo 30** - Índice sintético de acessibilidade da população residente, por grupo etário, para a rede actual do município de Madrid.

	Grupo Etário				Total
	0 – 14 anos	15 – 24 anos	25 – 64 anos	65 ou mais anos	
<i>AQ</i>	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68
<i>P</i>	358.872	261.196	1.660.710	570.382	2.851.160
<i>SA</i>	240.444	175.001	1.129.283	387.860	1.938.789

**Anexo 31** - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para rede irregular de alta densidade.

Distância à estação (metros)	<i>Ri</i>	<i>Rmax/Ri</i>	<i>Ti</i>	<i>(Rmax/Ri)Ti</i>
100	0,5	1	54199	54199
200	0,46	0,93	133731	124370
300	0,43	0,86	178684	153668
400	0,39	0,79	190820	150748
500	0,36	0,72	206553	148718
600	0,32	0,65	139098	90414
700	0,29	0,59	89901	53042
800	0,26	0,52	54275	28223
900	0,22	0,45	51417	23138
1000	0,19	0,38	32861	12487
1100	0,15	0,31	27212	8436
1200	0,12	0,24	16320	3917
$\Sigma(Rmax/Ri)T$	851359			
$\Sigma Ti$	1175071			
<i>AQ</i>	0,72			

**Anexo 32** - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede irregular de baixa densidade.

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$T_i$	$(R_{max}/R_i)T_i$
100	0,5	1	40069	40069
200	0,46	0,93	55928	52013
300	0,43	0,86	94712	81452
400	0,39	0,79	159497	126003
500	0,36	0,72	159195	114620
600	0,32	0,65	128216	83340
700	0,29	0,59	174420	102908
800	0,26	0,52	123813	64383
900	0,22	0,45	83454	37554
1000	0,19	0,38	39824	15133
1100	0,15	0,31	28096	8710
1200	0,12	0,24	21952	5268
$\Sigma(R_{max}/R_i)T$	731454			
$\Sigma T_i$	1109176			
$AQ$	0,66			

**Anexo 33** - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede ortogonal (75mx50m).

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$T_i$	$(R_{max}/R_i)T_i$
100	0,5	1	72646	72646
200	0,46	0,93	163821	152354
300	0,43	0,86	199169	171285
400	0,39	0,79	197129	155732
500	0,36	0,72	170675	122886
600	0,32	0,65	111525	72491
700	0,29	0,59	83305	49150
800	0,26	0,52	64561	33572
900	0,22	0,45	41226	18552
1000	0,19	0,38	32531	12362
1100	0,15	0,31	20532	6365
1200	0,12	0,24	21679	5203
$\Sigma(R_{max}/R_i)T$	872597			
$\Sigma T_i$	1178799			
$AQ$	0,74			

**Anexo 34** - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede ortogonal (150mx100m).

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$T_i$	$(R_{max}/R_i)T_i$
100	0,5	1	49013	49013
200	0,46	0,93	100740	93688
300	0,43	0,86	187559	161301
400	0,39	0,79	216187	170788
500	0,36	0,72	174060	125323
600	0,32	0,65	139186	90471
700	0,29	0,59	95935	56602
800	0,26	0,52	68877	35816
900	0,22	0,45	49575	22309
1000	0,19	0,38	34660	13171
1100	0,15	0,31	21576	6689
1200	0,12	0,24	24733	5936
$\Sigma(R_{max}/R_i)T$	831105			
$\Sigma T_i$	1162101			
$AQ$	0,72			

**Anexo 35** - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede orientada à estação.

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$T_i$	$(R_{max}/R_i)T_i$
100	0,5	1	85981	85981
200	0,46	0,93	210789	196034
300	0,43	0,86	245166	210843
400	0,39	0,79	229189	181059
500	0,36	0,72	148613	107001
600	0,32	0,65	88264	57372
700	0,29	0,59	69786	41174
800	0,26	0,52	43721	22735
900	0,22	0,45	29670	13352
1000	0,19	0,38	22368	8500
1100	0,15	0,31	17337	5374
1200	0,12	0,24	13351	3204
$\Sigma(R_{max}/R_i)T$	932629			
$\Sigma T_i$	1204235			
$AQ$	0,77			

**Anexo 36** - Índice de qualidade de acesso do emprego (número de trabalhadores) para a rede actual do município de Madrid.

Distância à estação (metros)	$R_i$	$R_{max}/R_i$	$T_i$	$(R_{max}/R_i)T_i$
100	0,5	1	46492	46492
200	0,46	0,93	140031	130229
300	0,43	0,86	174425	150006
400	0,39	0,79	185218	146322
500	0,36	0,72	155687	112095
600	0,32	0,65	109353	71079
700	0,29	0,59	88326	52112
800	0,26	0,52	57789	30050
900	0,22	0,45	63172	28427
1000	0,19	0,38	44163	16782
1100	0,15	0,31	32440	10056
1200	0,12	0,24	36337	8721
$\Sigma(R_{max}/R_i)T$	802372			
$\Sigma T_i$	1133433			
$AQ$	0,71			

**Anexo 37** - Índice sintético de acessibilidade do emprego (número de trabalhadores) para as diferentes redes viárias em análise.

	Rede viária					
	Irregular de alta densidade	Irregular de baixa densidade	Ortogonal (75mx50m)	Ortogonal (150mxm100m)	Orientada à estação	Actual
$AQ$	0,72	0,66	0,74	0,72	0,77	0,71
$T$	1.175.071	1.109.176	1.178.799	1.162.101	1.204.235	1.133.433
$SA$	846.051	732.056	872.311	836.713	927.261	804.737